QADOQLOVCHI ROBOT MANIPULYATORNING UCH QISMINI OPTIMALLASHTIRISH

Phd ***Dilmurod Qodirov***
Phd ***To'xtasinov Davron***
Ilmiy tadqiqotchi: ***Abdusamiyev Yaxyo Nizomjon o'g'li***
yaxyo.abdusamiyev003@gmail.com
Namangan davlat texnika universiteti

Annotatsiya: Ushbu maqolada qadoqlash jarayonlarida qo'llaniladigan robot manipulyatorning uch asosiy qismi — mexanik konstruksiya, boshqaruv tizimi va aktuatorlarning samaradorligini oshirish bo'yicha optimallashtirish yondashuvlari ilmiy asoslangan holda bayon etiladi. Tadqiqot davomida manipulyatorning vazni, inertsiyasi, pozitsion aniqligi, energiya sarfi va sikl tezligiga ta'sir qiluvchi omillar tahlil qilinadi hamda har bir qismni takomillashtirish orqali umumiy samaradorlikni oshirishning amaliy yo'llari ko'rsatiladi. Olingan natijalar manipulyatorning tezligi, aniqligi va energiya tejamkorligini sezilarli darajada yaxshilash imkonini beradi.

Kalit so'zlar: robot manipulyatori, optimallashtirish, qadoqlash, mexanik konstruksiya, boshqaruv tizimi, aktuatorlar, energiya tejamkorlik.

Аннотация: В данной статье представлен научно обоснованный подход к оптимизации, направленный на повышение эффективности трех основных частей роботизированного манипулятора, используемого в процессах упаковки: механической конструкции, системы управления и исполнительных механизмов. В исследовании анализируются факторы, влияющие на вес, инерцию, точность позиционирования, энергопотребление и скорость цикла манипулятора, а также показаны практические способы повышения общей эффективности за счет улучшения каждой его части. Полученные результаты позволяют значительно повысить скорость, точность и энергоэффективность манипулятора.

Ключевые слова: робот-манипулятор, оптимизация, упаковка, механическая конструкция, система управления, исполнительные механизмы, энергоэффективность.

Abstract: This article presents a scientifically based optimization approach to improve the efficiency of three main parts of a robotic manipulator used in packaging processes - mechanical structure, control system and actuators. The study analyzes the factors affecting the weight, inertia, positional accuracy, energy consumption and cycle speed of the manipulator, and shows practical ways to improve overall efficiency by improving each part. The results obtained allow for significant improvements in the speed, accuracy and energy efficiency of the manipulator.

Keywords: robot manipulator, optimization, packaging, mechanical design, control system, actuators, energy efficiency.

Zamonaviy sanoat korxonalarida qadoqlash jarayonlarini avtomatlashtirish mahsulot sifati va ishlab chiqarish samaradorligini oshirishning eng muhim omillaridan biridir. Qadoqlovchi robot manipulyatorlar ko‘p takrorlanuvchi, yuqori aniqlik talab etiladigan va doimiy tezlikda bajariladigan vazifalarning markazida turadi. Biroq manipulyatorning mexanik tuzilishi og‘ir bo‘lsa, boshqaruv algoritmlari yetarli darajada moslashuvchan bo‘lmasa yoki aktuatorlarning energiya samaradorligi past bo‘lsa, bu jarayonning tezkorligi, aniqligi va barqarorligiga salbiy ta’sir ko‘rsatadi. Shu sababli manipulyatorning uch asosiy elementi – mexanik konstruksiya, boshqaruv tizimi va aktuatorlarni kompleks tarzda optimallashtirish zarur. Mazkur maqola aynan ushbu yo‘nalishdagi ilmiy-amaliy natijalarni yoritishga qaratilgan [1].

So‘nggi yillarda robototexnika sohasida qadoqlashga ixtisoslashgan manipulyatorlarni takomillashtirish bo‘yicha ko‘plab tadqiqotlar olib borilgan bo‘lib, ularda asosan struktura massasini kamaytirish, inertsiyani optimallashtirish, adaptiv boshqaruv tizimlaridan foydalanish va energiya tejamkor aktuatorlarni joriy etish bo‘yicha ilmiy yondashuvlar asosiy o‘rinni egallaydi. Ilmiy manbalarda karbon kompozit materiallar yordamida bo‘g‘in massasini kamaytirish orqali motorlarga tushadigan yuklarni pasaytirish samarali ekanligi ko‘rsatilgan. Boshqaruv tizimlarida fuzzy-logic, adaptiv boshqaruv, neyron tarmoqlar asosidagi algoritmlar manipulyatorning aniqligini oshirishga katta hissa qo‘shadi. Aktuatorlar bo‘yicha esa BLDC motorlar va zamonaviy servo drayvlarning energiya tejamkorligi, yuqori moment berish qobiliyati hamda past issiqlik ajratishi eng katta afzallik sifatida ta’kidlanadi. Ushbu adabiyotlar tahlili manipulyatorning uch qismiga bir vaqtning o‘zida e’tibor qaratish eng yaxshi natijani berishini ko‘rsatadi.

Tadqiqot metodologiyasi

Tadqiqotning dastlabki bosqichida mavjud qadoqlovchi robot manipulyatorlar konstruksiyasi, ularning ishchi qismlari turlari hamda sanoatda qo‘llanilayotgan texnologik yechimlar tahlil qilindi. Ushbu tahlil asosida ishchi qism samaradorligiga ta’sir etuvchi asosiy parametrlar — tutqich geometrik o‘lchamlari, massasi, ushlash kuchi, ish tezligi va energiya sarfi aniqlab olindi.

Keyingi bosqichda manipulyator ishchi qismining **kinematik modeli** ishlab chiqildi. Bunda manipulyator bo‘g‘inlarining harakat trayektoriyasi, tezlik va tezlanish parametrlari matematik ifodalar orqali aniqlanib, Denavit–Hartenberg parametrlari asosida koordinatalar o‘zgarishi hisoblandi. Kinematik tahlil ishchi qismning maksimal ish zonasi va harakat aniqligini baholash imkonini berdi [2].

Dinamik tahlil bosqichida manipulyator ishchi qismining yuklama ostidagi harakati o‘rganildi. Lagrange tenglamalari yordamida kuch va momentlar taqsimoti

aniqlanib, ishchi qism massasining o‘zgarishi tizim tebranishlari va barqarorligiga ta’siri baholandi. Ushbu tahlil optimallashtirish jarayonida konstruktsiya og‘irligini kamaytirish va energiya samaradorligini oshirishga xizmat qildi.

Optimallashtirish masalasini yechishda **ko‘p mezonli optimallashtirish usuli** qo‘llanildi. Maqsad funksiyasi sifatida ishchi qismning massasi, energiya sarfi va ushlash aniqligini minimallashtirish, ish unumdorligini esa maksimal darajada oshirish belgilandi. Cheklovlar sifatida mexanik mustahkamlik, xavfsizlik talablari va texnologik cheklovlar inobatga olindi. Hisob-kitoblar MATLAB va SolidWorks Simulation dasturlari yordamida amalga oshirildi [3].

Tadqiqotning yakuniy bosqichida optimallashtirilgan ishchi qism modeli kompyuter simulyatsiyasi orqali sinovdan o‘tkazildi hamda an’anaviy konstruktsiya bilan solishtirma tahlil qilindi. Natijalar asosida optimallashtirilgan yechimning qadoqlash aniqligi, tezligi va energiya samaradorligi bo‘yicha ustunliklari aniqlab berildi.

Ushbu metodologiya qadoqlovchi robot manipulyator ishchi qismini takomillashtirishda ilmiy asoslangan va amaliy jihatdan samarali yechimlarni ishlab chiqishga imkon yaratadi.

Natijalar va muhokama

Tadqiqot natijalariga ko‘ra, mexanik konstruksiyada yengil materiallardan foydalanish manipulyator massasini sezilarli kamaytirib, servo motorlarning yuklanishini pasaytirdi va harakat tezligini oshirdi. Karbon kompozitlar qo‘llanilganda inertsiya kamayishi tufayli tebranishlar kamayayotgani va harakat aniqligi yaxshilanganligi kuzatildi. Boshqaruv tizimining takomillashtirilishi, xususan, fuzzy-PID algoritmi qo‘llanishi natijasida pozitsion xatolik ancha kamaydi, trayektoriya bo‘ylab silliq harakat ta’minlandi va tizimning yuqori tezlikda barqarorligi oshdi. Aktuatorlarni zamonaviy BLDC servo motorlarga almashtirish natijasida energiya sarfi 20% dan ko‘proq kamaydi, motorlarning qizish darajasi tushdi va umumiy sikl tezligi oshdi. Optimallashtirishning barcha natijalari shuni ko‘rsatdiki, mexanik konstruksiya, boshqaruv tizimi va aktuatorlarni kompleks ravishda takomillashtirish robot manipulyatorning umumiy samaradorligini sezilarli darajada oshirgan [4].

Qadoqlovchi robot manipulyatorining uch bo‘g‘ini bo‘yicha optimallashtirish natijalari:

Bo‘g‘in raqami	Optimal uzunlik L (m)	Optimal burchak tezlik ω (rad/s)	Talab etilgan moment M (N·m)	Energiya sarfi E (J)	Trajektoriya o‘rtacha xatosi ε (mm)	Harakat vaqti t (s)
1-bo‘g‘in (bazaviy)	0,45	1.8	12.4	86	1.2	0.48

Bo‘g‘in raqami	Optimal uzunlik L (m)	Optimal burchak tezlik ω (rad/s)	Talab etilgan moment M (N·m)	Energiya sarfi E (J)	Trajektoriya o‘rtacha xatosi ε (mm)	Harakat vaqti t (s)
2-bo‘g‘in (oraliq)	0.32	2.3	8.7	64	0.9	0.36
3-bo‘g‘in (yakuniy, gripperga ulangan)	0.18	3.1	4.2	51	0.6	0.27

Kinematik optimallashtirish natijalari

Parametr	Dastlabki qiymat	Optimallashgandan keyingi qiymat	Yaxshilanish (%)
Ishchi zonaning radiusi R (m)	0.82	0.95	+15.8%
Oxirgi effektor aniqligi (mm)	2.4	0.6	−75% (aniqlik oshdi)
O‘rtacha burchak tezlik (rad/s)	1.9	2.4	+26%
Pozitsiya xatosi RMS (mm)	1.8	0.9	−50%

Dinamik optimallashtirish natijalari:

Ko‘rsatkich	Dastlabki	Optimallashtirilgan	Yaxshilanish
Energiya sarfi (J)	231	201	−13%
Maximal moment talabi (N·m)	16.8	12.4	−26%
Tezlanish α (rad/s²)	4.1	5.3	+29%
Vibratsiya amplitudasi (mm)	1.1	0.5	−54%

Manipulyatorning umumiy samaradorlik ko‘rsatkichlari:

Ko‘rsatkich	Qiymat
Optimal boshqaruv strategiyasi	PD + feedforward
Trajektoriya silliqligi koeff.	0.92

Ko‘rsatkich	Qiymat
Ishlash sikli vaqti	1.11 s
Paket qadoqlash unumdorligi	54 ta/min
O‘rtacha yuk ko‘tarish massasi	2.3 kg
Xatolikni kamaytirish darajasi	3,9 barobar

Xulosa

Yig‘ilgan natijalar shuni ko‘rsatadiki, qadoqlovchi robot manipulyatorning uch asosiy qismi – mexanik konstruksiya, boshqaruv tizimi va aktuatorlarni optimallashtirish sanoatda qadoqlash jarayonlarining samaradorligini oshirishda muhim ahamiyatga ega. Mexanik strukturaning yengillashishi tizimning tezligiga ijobiy ta’sir ko‘rsatadi, zamonaviy boshqaruv algoritmlari esa yuqori aniqlikni ta’minlaydi. Shuningdek, energiya tejamkor aktuatorlardan foydalanish ishlab chiqarish xarajatlarini kamaytiradi va tizimning ishlash muddatini uzaytiradi. Undan tashqari uchala qismning o‘zaro uyg‘un optimallashtirilishi eng yuqori natijaga erishish imkonini beradi. Mazkur tadqiqot natijalari kelajakda qadoqlash tizimlari uchun yanada samarali va tejamkor robot manipulyator modellarini ishlab chiqishda asos bo‘lib xizmat qilishi mumkin.

Foydalanilgan adabiyotlar:

1. Sherzod Djuraev, Davronbek Tuxtasinov; Fractional-order moments method for monitoring and diagnosing electric motor conditions. AIP Conf. Proc. 21 July 2025
2. Craig j. Introduction to robotics: mechanics and control. Pearson, 2018.
3. Siciliano b., khatib o. Springer handbook of robotics. Springer, 2016.
4. Pham q. Et al. Adaptive trajectory control for industrial spray robots, ieee, 2022.
5. Slotine j.-j., li w. Applied nonlinear control. Prentice hall, 2019.
6. Robotics. Robotstudio technical documentation, 2021.
7. Dynamic trajectory planning methods for painting uneven surfaces with robotic manipulators. (2024).Web of Teachers: Inderscience Research.