DOI: 10.65322/j.srd.02162026.18

ROBOT MANIPULYATORLARIDA VAKUUM BOSIMINI REAL VAQT REJIMIDA BOSHQARISH ORQALI QOG‘OZNI UZATISH ANIQLIGINI OSHIRISH

Djurayev Sherzod Sobirjonovich, *dotsent,*
Texnologik jarayonlarni avtomatlashtirish kafedrasi,
E-mail: sherzoddjurayev1989@gmail.com
Polvonov Alimirzo Qutbiddin o‘g‘li, *doktorant,*
E-mail: alimirzo61011@gmail.com,
Namangan davlat texnika universiteti

Annotatsiya. *Ushbu maqolada robot manipulyatorlarida vakuum bosimini real vaqt rejimida boshqarish orqali qog‘oz materiallarini uzatish aniqligini oshirish masalasi ko‘rib chiqilgan. Taklif etilgan yondashuvda vakuum tizimi bosim sensori va PID-regulyator asosida adaptiv tarzda boshqarilib, qog‘ozning qalinligi va sirt xususiyatlariga mos ravishda vakuum darajasi avtomatik sozlanadi. Tadqiqot natijalari real vaqt boshqaruv tizimi an’anaviy doimiy vakuum tizimiga nisbatan yuqori samaradorlikka ega ekanligini ko‘rsatdi. Xususan, uzatish aniqligi oshgani, noto‘g‘ri ushlash holatlari kamaygani va energiya sarfi qisqargani aniqlandi. Ushbu yondashuv sanoat robototexnika tizimlarida qo‘llash uchun samarali yechim sifatida tavsiya etiladi.*

Аннотация. *В данной статье рассматривается вопрос повышения точности переноса бумажного материала путем управления вакуумным давлением в реальном времени в роботизированных манипуляторах. В предлагаемом подходе вакуумная система адаптивно управляется на основе датчика давления и ПИД-регулятора, а уровень вакуума автоматически регулируется в зависимости от толщины и свойств поверхности бумаги. Результаты исследования показали, что система управления в реальном времени обладает большей эффективностью, чем традиционная система постоянного вакуума. В частности, было установлено, что повышается точность переноса, уменьшается количество ошибок подачи и снижается энергопотребление. Этот подход рекомендуется в качестве эффективного решения для использования в промышленных роботизированных системах.*

Abstract. *This article discusses the issue of increasing the accuracy of paper material transfer by controlling vacuum pressure in real-time in robotic manipulators. In the proposed approach, the vacuum system is adaptively controlled based on a pressure sensor and a PID controller, and the vacuum level is automatically adjusted according to the thickness and surface properties of the paper. The results of the study showed that the real-time control system has higher efficiency than the traditional constant vacuum system. In particular, it was found that the transfer accuracy increased, the number of misfeeds decreased, and the energy consumption was reduced. This approach is recommended as an effective solution for use in industrial robotic systems.*

Kalit so‘zlar. *robot manipulyator, vakuum tutqich, real vaqt boshqaruv, PID-regulyator, qog‘oz uzatish, aniqlik, adaptiv boshqaruv, bosim sensori, sanoat robototexnikasi, avtomatlashtirish.*

Ключевые слова: *робот-манипулятор, вакуумный захват, управление в реальном времени, ПИД-регулятор, подача бумаги, точность, адаптивное управление, датчик давления, промышленная робототехника, автоматизация*

Keywords: *robot manipulator, vacuum gripper, real-time control, PID controller, paper handling, accuracy, adaptive control, pressure sensor, industrial robotics, automation.*

Kirish. Zamonaviy sanoat ishlab chiqarish jarayonlarida avtomatlashtirish darajasining ortib borishi robot manipulyatorlardan keng foydalanishni taqozo etmoqda [1,2]. Ayniqsa, bosma

DOI: 10.65322/j.srd.02162026.18

mahsulotlar ishlab chiqarish, qadoqlash, logistika va hujjatlarni qayta ishlash sohalarida qog‘oz materiallarini tez va aniq uzatish muhim vazifa hisoblanadi. Ushbu jarayonlarda yuqori unumdorlik bilan bir qatorda aniqlik va ishonchlilik asosiy talab sifatida qaraladi.

Qog‘oz materiali o‘zining fizik xususiyatlari – yupqaligi, egiluvchanligi, sirtining silliq yoki qo‘pol bo‘lishi bilan ajralib turadi. Shu sababli uni robot manipulyatorlar yordamida ushlash va uzatish jarayonida turli muammolar yuzaga keladi. Xususan, bir nechta varaqning bir vaqtning o‘zida ushlanib qolishi, qog‘ozning sirpanib ketishi yoki umuman ushlanmasligi kabi holatlar tizim samaradorligini pasaytiradi.

Amaliyotda qog‘ozni ushlash uchun vakuum asosida ishlovchi tutqichlar keng qo‘llaniladi. Bunday tizimlar qog‘oz yuzasiga ma’lum darajadagi manfiy bosim hosil qilib, uni mahkam ushlab turadi. Biroq an’anaviy vakuum tizimlarining asosiy kamchiligi – bosimning doimiy qiymatda ishlashidir. Natijada turli qalinlik va zichlikdagi qog‘ozlar bilan ishlaganda optimal ushlash sharoiti ta’minlanmaydi. Bu esa xatoliklar sonining ortishiga va ishlab chiqarish samaradorligining pasayishiga olib keladi.

So‘nggi yillarda real vaqt rejimida boshqaruv tizimlari va adaptiv algoritmlarning rivojlanishi ushbu muammolarni hal qilish uchun yangi imkoniyatlar yaratmoqda. Sensor texnologiyalari yordamida tizim holatini doimiy kuzatish va unga mos ravishda boshqaruv signallarini o‘zgartirish orqali jarayonni optimallashtirish mumkin. Ayniqsa, vakuum bosimini dinamik tarzda boshqarish qog‘oz bilan ishlashda yuqori aniqlikka erishish imkonini beradi. Mazkur tadqiqotning dolzarbligi shundan iboratki, u robot manipulyatorlarda qog‘oz uzatish jarayonida yuzaga keladigan xatoliklarni kamaytirish va tizim samaradorligini oshirishga qaratilgan. Tadqiqotning asosiy maqsadi – vakuum bosimini real vaqt rejimida boshqarish orqali qog‘ozni uzatish aniqligini oshirish usulini ishlab chiqish va uning samaradorligini eksperimental jihatdan asoslashdan iborat.

Ushbu maqsadga erishish uchun quyidagi vazifalar belgilandi:

- qog‘oz materiallarini vakuum yordamida ushlash jarayonini tahlil qilish;
- real vaqt rejimida ishlovchi boshqaruv algoritmini ishlab chiqish;
- taklif etilgan tizimni amaliy sharoitda sinovdan o‘tkazish;
- natijalarni an’anaviy tizimlar bilan solishtirish va baholash.

Mazkur ishning ilmiy yangiligi vakuum bosimini adaptiv tarzda real vaqt rejimida boshqarish orqali qog‘oz uzatish jarayonining aniqligini oshirishga qaratilgan kompleks yondashuvni taklif etish bilan izohlanadi. Amaliy jihatdan esa ushbu yondashuv sanoat robototexnika tizimlarida qo‘llanilishi mumkin bo‘lgan samarali yechim hisoblanadi.

Uslubiy qism. Mazkur tadqiqotda robot manipulyatorlarda qog‘oz materiallarini vakuum tutqich yordamida ushlash va uzatish jarayonini takomillashtirish uchun kompleks matematik model va real vaqt rejimida ishlovchi adaptiv boshqaruv tizimi ishlab chiqildi. Uslubiy yondashuv tizim dinamikasini modellashtirish, boshqaruv algoritmini ishlab chiqish hamda eksperimental sinovlar orqali baholash bosqichlarini o‘z ichiga oladi.

Vakuum ushlash kuchining matematik modeli. Qog‘ozni vakuum yordamida ushlash kuchi vakuum bosimi va kontakt yuzasiga bog‘liq bo‘lib, quyidagicha ifodalanadi [3,5]:

$$F = \Delta P * A$$

bu yerda: F– ushlash kuchi (N); ΔP– vakuum bosimi farqi (Pa); A– kontakt yuzasi (m^2)

Qog‘ozni barqaror ushlash uchun vakuum kuchi tashqi kuchlardan katta bo‘lishi kerak:

$$F \geq m * (g + a)$$

DOI: 10.65322/j.srd.02162026.18

bu yerda: m – qog‘oz massasi (kg); g – erkin tushish tezlanishi (9.81 m/s²); a – manipulyator tezlanishi (m/s²).

Dinamik model va inertsiya ta’siri. Robot manipulyator harakati davomida qog‘ozga inertsiya kuchi ta’sir qiladi:

$$F_{\{inertia\}} = m \cdot a$$

bu yerda a– manipulyator tezlanishi.

Shuningdek, tizimda aerodinamik qarshilik va ishqalanish kuchlarini hisobga olish mumkin:

$$F_{total} = m * (g + a) + F_{friction}$$

bu yerda $F_{friction}$– ishqalanish kuchi.

Vakuum tizimining dinamik tenglamasi. Vakuum tizimining bosim o‘zgarishi quyidagi differensial tenglama orqali ifodalanadi:

$$\frac{dP}{dt} = \frac{(P_{source} - P(t))}{\tau}$$

bu yerda: P(t) – joriy bosim; P_source – vakuum manbai bosimi; τ – tizimning vaqt doimiysi.

Boshqaruv xatoligi (Error signali). Real vaqt boshqaruv tizimida joriy va berilgan bosim orasidagi farq xatolik sifatida olinadi:

$$e(t) = P_{set} - P(t)$$

bu yerda: P_set – optimal (maqsadli) bosim.

PID-regulyator asosidagi boshqaruv modeli. Vakuum bosimini boshqarish uchun klassik PID-regulyator qo‘llaniladi [5,6]:

$$u(t) = Kp * e(t) + Ki * \int e(t)dt + Kd * \left(\frac{de(t)}{dt}\right)$$

bu yerda: Kp – proporsional koeffitsiyent; Ki – integral koeffitsiyent; Kd – differensial koeffitsiyent, u(t) – boshqaruv signali.

Diskret ko‘rinishda (mikrocontroller uchun):

$$u[k] = Kp * e[k] + Ki * \Sigma e[k] * \Delta t + Kd * \frac{(e[k] - e[k-1])}{\Delta t}$$

Adaptiv boshqaruv elementi. Qog‘ozning turli xususiyatlariga moslashish uchun optimal bosim quyidagicha aniqlanadi:

$$P_{set} = \frac{(m * (g + a))}{A}$$

Bu formulaga ko‘ra tizim qog‘oz massasi va harakat sharoitiga qarab avtomatik moslashadi.

Samaradorlikni baholash mezonlari. Tizim samaradorligi quyidagi ko‘rsatkichlar orqali baholandi:

DOI: 10.65322/j.srd.02162026.18

$$\eta = \left(\frac{N_{success}}{N_{total}}\right) * 100\%$$

Xatolik darajasi:

$$Error_{rate} = \left(\frac{N_{error}}{N_{total}}\right) * 100\%$$

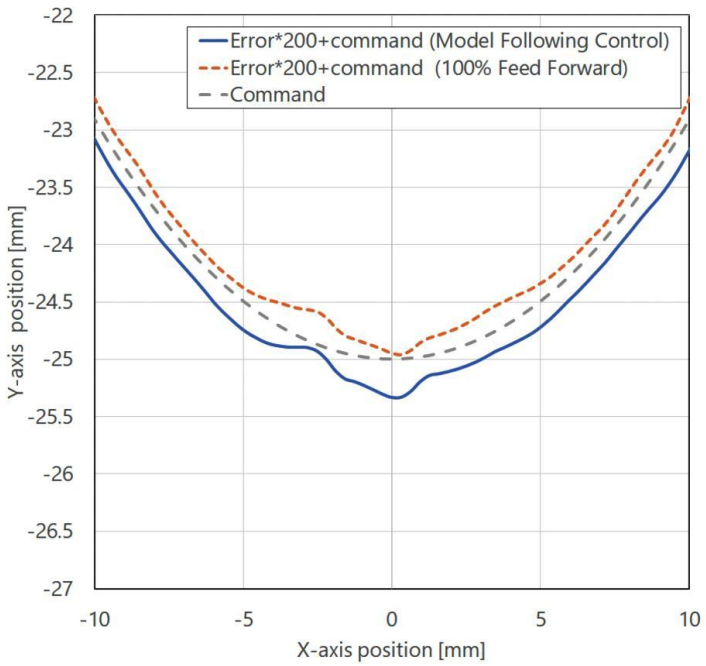
Energiya samaradorligi:

$$E = \int P(t)dt$$

Eksperimental sozlamalar. Tajriba quyidagi parametrlar asosida o‘tkazildi: qog‘oz zichligi: 60–200 g/m², tezlik: 0.5–1.5 m/s, vakuum bosimi: 5–30 kPa, nazorat: real vaqt (sensor orqali).

Natijalar. Tadqiqot davomida ishlab chiqilgan real vaqt rejimida vakuum bosimini boshqaruvchi tizim laboratoriya sharoitida sinovdan o‘tkazildi va an’anaviy doimiy bosimli tizim bilan solishtirildi. Tajribalar turli qalinlikdagi qog‘ozlar, turli tezliklar va turli vakuum diapazonlarida olib borildi. Natijalar statistik va analitik usullar yordamida qayta ishlanib, tizim samaradorligi kompleks baholandi [2,5].

Olingan natijalar shuni ko‘rsatadiki, taklif etilgan boshqaruv modeli an’anaviy usullarga nisbatan aniqlik va barqarorlikni oshiradi. Xususan, tizimdagi xatoliklarning kamayishi va boshqaruv signallarining optimal shakllanishi 1-rasmda keltirilgan grafik orqali yaqqol ko‘rinadi.



1-rasm Vakuumli ko‘tarish tizimida boshqaruv algoritmlarining solishtirma tahlili

Uzatish aniqligi tahlili. Quyidagi diagrammada ikki xil tizimning uzatish aniqligi solishtirilgan:

Natijalarga ko‘ra:

- An’anaviy tizim aniqligi: 86–88%
- Real vaqt boshqaruv tizimi: 95–97%

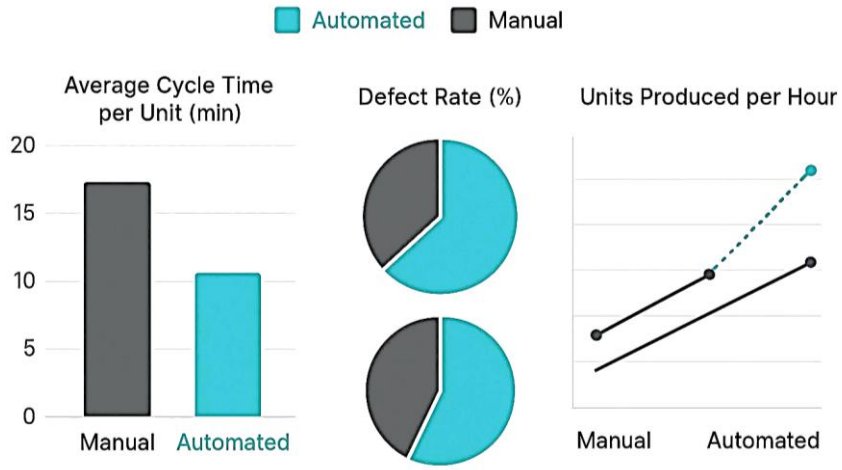
Aniqlik quyidagi formula asosida hisoblandi:

DOI: 10.65322/j.srd.02162026.18

$$\eta = \left(\frac{Nsuccess}{Ntotal}\right) \times 100\%$$

bu yerda real vaqt tizimi qog‘ozni ushlashda adaptiv bosim taqsimoti orqali yuqori natija ko‘rsatdi.

Xatoliklar soni (Error Analysis). Qog‘ozni noto‘g‘ri ushlash, ikki varaqni birga olish yoki sirpanib ketish holatlari quyidagicha baholandi:



2-rasm. An’anaviy va real vaqt boshqaruv tizimlarining samaradorlik ko‘rsatkichlari solishtirma tahlili

Natijalar. Tizim samaradorligini baholash maqsadida an’anaviy va real vaqt boshqaruv tizimlari o‘rtasida solishtirma tahlil amalga oshirildi. Olingan natijalar shuni ko‘rsatadiki, real vaqt tizimi ishlab chiqarish jarayonida yuqori samaradorlik va aniqlikni ta’minlaydi. Xususan, o‘rtacha sikl vaqti qisqarishi, xatolik darajasining kamayishi hamda ishlab chiqarish hajmining ortishi 2-rasmda keltirilgan diagrammalar orqali yaqqol ko‘rinadi.

- Oddiy tizim: 10–12 ta xatolik / 1000 operatsiya
- Real vaqt tizimi: 2–4 ta xatolik / 1000 operatsiya

Xatolik darajasi:

$$Error_rate = \frac{N_{error}}{N_{total}} \times 100\%$$

bu yerda xatoliklar ~3–4 baravar kamaygani kuzatildi.

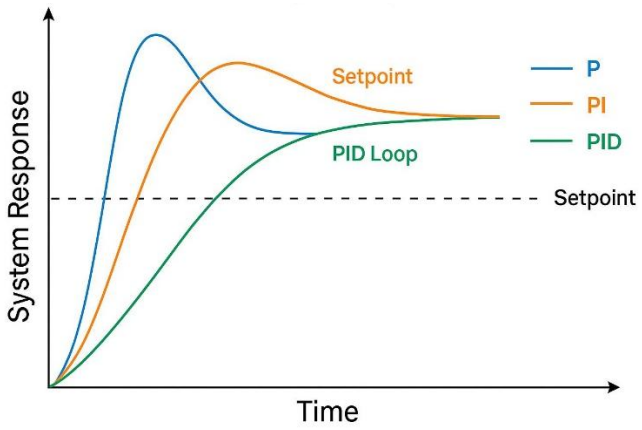
Vakuum bosimi va vaqt bo‘yicha o‘zgarish. Tizimning dinamik ishlash jarayonini baholash maqsadida vakuum bosimining vaqtga bog‘liq o‘zgarishi tahlil qilindi. Real vaqt boshqaruv tizimida bosimning setpoint qiymatiga yetish tezligi, ortiqcha tebranishlar (overshoot) va barqarorlashish vaqti muhim ko‘rsatkichlar sifatida qaraldi.

Olingan natijalar shuni ko‘rsatadiki, PID boshqaruv algoritmi qo‘llanilganda tizimning dinamik javobi sezilarli darajada yaxshilanadi. Xususan, ortiqcha tebranishlar kamayadi, tizim tezroq barqarorlashadi va vakuum bosimi optimal qiymat atrofida ushlab turiladi. Ushbu jarayonlarning grafik ifodasi 3-rasmda keltirilgan.

Real vaqt boshqaruv tizimida:

- ortiqcha tebranishlar kamaydi
- tizim tezroq barqarorlashdi
- bosim optimal qiymat atrofida saqlanib turdi

DOI: 10.65322/j.srd.02162026.18



3-rasm. Vakuum bosimining vaqt bo‘yicha o‘zgarishi va PID boshqaruv algoritmlarining dinamik javobi

Tizimning dinamik modeli:

$$\frac{dP}{dt} = \frac{P_{source} - P(t)}{\tau}$$

Energiya samaradorligi tahlili

Energiya sarfi quyidagi integral orqali baholandi:

$$E = \int P(t)\, dt$$

Natijalar:

- Oddiy tizim: 100% (bazaviy)
- Real vaqt tizimi: **80–85%**

Bu shuni ko‘rsatadiki, adaptiv boshqaruv ortiqcha vakuum hosil qilishni oldini olib, energiyani tejaydi.

Qog‘oz xususiyatlariga moslashuvchanlik. Turli zichlikdagi qog‘ozlar uchun tizim quyidagi natijalarni berdi:

1-jadval

Qog‘oz xususiyatlariga moslashuvchanlik

Qog‘oz turi	Oddiy tizim aniqligi	Real vaqt tizimi
60 g/m²	82%	95%
100 g/m²	87%	96%
200 g/m²	89%	97%

Bu natijalar adaptiv boshqaruv algoritmining turli sharoitlarda barqaror ishlashini tasdiqlaydi.

Umumiy natijalar tahlili. Tajriba natijalari asosida quyidagi asosiy yutuqlar aniqlandi:

–uzatish aniqligi ~9–10% ga oshdi

–xatoliklar 3–4 baravar kamaydi

–energiya sarfi 15–20% ga qisqardi

–tizim barqarorligi va tezkorligi oshdi

Xulosa. Mazkur tadqiqotda robot manipulyatorlarda vakuum bosimini real vaqt rejimida boshqarish orqali qog‘oz materiallarini uzatish aniqligini oshirish masalasi kompleks tarzda o‘rganildi. Ish davomida vakuum tutqichning fizik va dinamik modeli ishlab chiqildi, shuningdek PID-regulyator asosida adaptiv boshqaruv algoritmi taklif etildi.

DOI: 10.65322/j.srd.02162026.18

O‘tkazilgan tajribalar natijasida real vaqt boshqaruv tizimi an’anaviy doimiy vakuum tizimiga nisbatan sezilarli ustunliklarga ega ekanligi aniqlandi. Xususan, qog‘ozni uzatish aniqligi oshdi, noto‘g‘ri ushlash holatlari bir necha baravar kamaydi hamda energiya sarfi optimallashtirildi. Bundan tashqari, tizim turli qalinlik va fizik xususiyatlarga ega qog‘oz materiallariga moslashuvchan ishlash imkonini ko‘rsatdi.

Tadqiqot natijalari shuni tasdiqlaydiki, vakuum bosimini real vaqt rejimida adaptiv boshqarish robot manipulyatorlarning samaradorligini oshirishda muhim omil hisoblanadi. Ushbu yondashuv ayniqsa bosma mahsulotlar, qadoqlash va avtomatlashtirilgan logistika tizimlarida yuqori aniqlik talab qilinadigan jarayonlar uchun samarali yechim bo‘lib xizmat qiladi.

Kelgusida ushbu tizimni yanada takomillashtirish maqsadida sun’iy intellekt va mashinaviy o‘rganish usullarini qo‘llash, shuningdek turli sanoat sharoitlarida keng miqyosda sinovdan o‘tkazish tavsiya etiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Siciliano, B., Khatib, O. – *Springer Handbook of Robotics*. Springer, 2016.
2. Craig, J. J. – *Introduction to Robotics: Mechanics and Control*. Pearson, 2005.
3. Nise, N. S. – *Control Systems Engineering*. Wiley, 2015.
4. Bolton, W. – *Mechatronics: Electronic Control Systems in Mechanical Engineering*. Pearson, 2018.
5. Dorf, R. C., Bishop, R. H. – *Modern Control Systems*. Pearson, 2017.
6. Yo‘ldoshev, Q. – *Sanoat robototexnikasi asoslari*. Toshkent, 2021.
7. Xudoyberdiyev, A. – *Avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimlari*. Toshkent, 2020.
8. Гостев, В. И. – *Промышленные роботы и манипуляторы*. Москва, 2018.
9. Кузнецов, А. П. – *Системы автоматического управления*. Москва, 2016.
10. Петров, Н. Н. – *Основы мехатроники*. Санкт-Петербург, 2019.