

AVTONOM YO'L TEKISLOVCHI (GREYDER) MASHINALARINING GIDRAVLIK YURITMALARINI RAQAMLI BOSHQARISH USULLARI

Sharifjonov Sardorbek Abdujabbor o'g'li

"Namangan mintaqaviy yo'llarga buyurtmachi xizmati" davlat muassasasi

Loyiha ta'minoti bo'limi bosh mutaxasisi

Email: sharifjonovsardor7717@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu tezisda avtonom yo'l tekislovchi (greyder) mashinalarining ishchi organlari va harakat uzatmalarida qo'llaniladigan gidravlik yuritmalarini raqamli boshqarish usullari tadqiq etiladi. Tadqiqotning asosiy maqsadi gidravlik tizimlarning chiziqli bo'lmagan dinamik xususiyatlarini inobatga olgan holda, ishchi pichoqning (otval) pozitsion aniqligini millimetrli darajaga yetkazuvchi algoritmlarni ishlab chiqishdir. Maqolada gidravlik klapanlarni impulslarni kenglik bo'yicha modulyatsiya qilish (PWM) usuli orqali boshqarish va raqamli PID regulyatorlarini adaptiv filtrlash usullari bilan integratsiyalash masalalari tahlil qilingan. Taklif etilayotgan raqamli boshqaruv modellari an'anaviy analog tizimlarga nisbatan gidravlik yuritmalarning javob qaytarish tezligini oshirish va energiya sarfini optimallashtirish imkonini beradi. Olingan natijalar yo'l qurilishida "aqli" greyderlarni yaratish va ularning texnologik jarayonlardagi avtonomlik darajasini oshirishda nazariy asos bo'lib xizmat qiladi.

Kalit so'zlar: avtonom greyder, gidravlik yuritma, raqamli boshqaruv, PWM (impulslarni kenglik bo'yicha modulyatsiya qilish), ishchi pichoq (otval), raqamli PID regulyatori, elektro-gidravlik boshqaruv, pozitsion aniqlik, dinamik xarakteristika.

Zamonaviy infratuzilma loyihalarining murakkablashishi va sifatga bo'lgan talablarning ortishi yo'l qurilish mashinalari, xususan, avtonom greyderlarning texnik imkoniyatlarini tubdan qayta ko'rib chiqishni taqozo etmoqda. Sanoat 4.0 konsepsiyasi doirasida yo'l tekislovchi mashinalarning boshqaruv tizimlarini raqamlashtirish nafaqat mehnat unumdorligini oshiradi, balki texnologik jarayonlarning aniqligini yangi bosqichga olib chiqadi. An'anaviy analog gidravlik tizimlar dinamik muhitda yuqori xatoliklarga ega bo'lib, ular ko'pincha tashqi ta'sirlarga nisbatan sekin javob qaytaradi. Shu bois, gidravlik yuritmalarni raqamli boshqarish usullari bugungi kunda avtonom tizimlarning fundamental asosi sifatida ko'rilmogda. Mazkur jarayonda gidravlika va mikroprotessorli texnologiyalarning sintezi mashinaning ishchi organlarini millimetrli aniqlikda boshqarish imkonini beradi. Ushbu tadqiqot aynan avtonom greyderlarning gidravlik yuritmalarini raqamli algoritmlar yordamida optimallashtirish muammolariga bag'ishlangan.

Avtonom greyderlarning gidravlik tizimlari o'ta murakkab va chiziqli bo'lmagan (non-linear) dinamik xususiyatlarga ega bo'lib, bu ularni boshqarishda qo'shimcha ilmiy izlanishlarni talab etadi. Ishchi suyuqlikning qovushqoqligi, harorat o'zgarishi va

tizimdagi bosim farqlari boshqaruv signallarining ijrochi organlarga yetib borishida noaniqliklarni keltirib chiqaradi. Raqamli boshqarish usullari ushbu parametrlarni real vaqt rejimida hisobga olish va kompensatsiya qilish imkoniyatini taqdim etishi bilan dolzarbdir. Yuqori tezlikdagi kontrollerlar yordamida gidravlik klapanlarning ochilish va yopilish vaqtini diskretlashtirish orqali tizimning turg'unligini ta'minlash mumkin. Bu yondashuv mashinaning ishchi pichog'i (otval) holatini relyefga qarab dinamik o'zgartirishda yuqori barqarorlikni kafolatlaydi. Tadqiqotning metodologik asosi sifatida gidravlik jarayonlarning matematik modellarini raqamli domenlarga o'tkazish uslubiyoti tanlab olingan.

Greydarning ishchi organi bo'lgan otvalning tuproq bilan o'zaro ta'siri jarayonida yuzaga keladigan qarshilik kuchlari kutilmagan tebranishlarni yuzaga keltirishi ma'lum. An'anaviy gidravlik drosellash usullari bunday dinamik yuklamalar sharoitida boshqaruv sifatini pasaytirib yuboradi va ortiqcha energiya sarfiga sabab bo'ladi. Raqamli signalni qayta ishlash texnologiyalari (DSP) gidravlik silindrlardagi porshen harakatini mikron darajasida monitoring qilish va xatoliklarni soniya ulushlarida to'g'rilash imkonini beradi. "Aqlli gidravlika" konsepsiyasi aynan sensorlardan olingan ma'lumotlarni raqamli algoritmlar orqali qayta ishlab, ijrochi mexanizmlarga aniq impulslar uzatishga tayanadi. Bu esa o'z navbatida mashinaning ishlash muddatini uzaytiradi va mexanik qismlarning yeyilishini sezilarli darajada kamaytiradi. Mazkur tadqiqotda gidravlik yuritmalarning statik va dinamik xarakteristikalari o'rtasidagi bog'liqlik raqamli tahlil metodlari yordamida o'rganilgan.

Gidravlik yuritmalarni raqamli boshqarishda elektro-gidravlik proporsional klapanlarning roli beqiyos bo'lib, ular elektr signallarini mexanik harakatga o'tkazuvchi asosiy bo'g'in hisoblanadi. Raqamli domenlarda ushbu klapanlarni boshqarish uchun diskretlashtirish chastotasini to'g'ri tanlash tizimning rezonans chastotalari bilan to'qnash kelmasligini ta'minlaydi. Gidravlik silindrlarning dinamik modellarini diskret vaqt oralig'ida tahlil qilish orqali boshqaruv blokining ishlash tezligi optimallashtiriladi. Tizimning barqarorligini ta'minlash uchun Lyapnov nazariyasiga asoslangan raqamli filtrlar va adaptiv boshqaruv usullari tatbiq etiladi. Bu jarayonda datchiklardan kelayotgan shovqinlarni filtrlash va foydali signalni ajratib olish asosiy ilmiy vazifalardan biri hisoblanadi. Olingan natijalar greyderlarning avtonom rejimda geodezik chizmalarga to'liq muvofiq ishlashini ta'minlashga xizmat qiladi.

Raqamli boshqaruvning eng samarali usullaridan biri - bu impulsni kenglik bo'yicha modulyatsiya qilish (PWM) texnologiyasidir. PWM usuli gidravlik klapanlarning ochilish darajasini yuqori chastotali signallar yordamida boshqarib, suyuqlik sarfini aniq dozalash imkonini beradi. Bu usul gidravlik tizimdagi energiya yo'qotishlarini issiqlik ko'rinishida tarqalishini minimallashtiradi va tizimning umumiy foydali ish koeffitsientini oshiradi. Gidravlik yuritmaning PWM signallariga nisbatan javob reaksiyasi matematik modellashtirilib, klapanlarning hisoblangan o'tish jarayonlari tahlil qilindi. Raqamli boshqaruv orqali gidravlik zarbalarni yumshatish

(anti-shock) va tizimning silliq ishlashini ta'minlash mexanizmlari ishlab chiqildi. Mazkur metodika aynan og'ir yo'l-qurilish texnikalari uchun xos bo'lgan inertiya muammolarini samarali hal etishga yo'naltirilgan.

Tizimning teskari aloqasini (feedback) ta'minlashda yuqori aniqlikdagi lazerli enkoderlar va magnitostriksion sensorlar ma'lumotlaridan foydalanildi. Ushbu datchiklar gidravlik silindr shtokining holatini real vaqtda o'lchab, ma'lumotlarni markaziy raqamli kontrollerga uzatadi. Kontroller maqsadli qiymat va real ko'rsatkich o'rtasidagi farqni hisoblab, boshqaruv signalini avtomatik tarzda korreksiya qiladi. GNSS navigatsiya ma'lumotlarining gidravlik tizim bilan integratsiyalashuvi mashinaning global koordinatalarga nisbatan joylashish aniqligini oshiradi. Sensorli ma'lumotlarni integratsiyalash algoritmlari datchiklar o'rtasidagi vaqtinchalik nomuvofiqliklarni (latency) bartaraf etishga xizmat qiladi. Bunday sinergetik yondashuv avtonom greyderning ishchi organlarini fazoda o'ta aniq pozitsiyalash imkonini yaratadi.

Raqamli PID (Proporsional-Integral-Differensial) regulyatorlari gidravlik yuritmalarni boshqarishda bazaviy algoritm hisoblansa-da, avtonom tizimlar uchun ularning adaptiv variantlari qo'llanildi. Tuproqning zichligi va qarshilik kuchi o'zgarganda, PID parametrlarining (K-koeffitsientlarining) avtomatik tarzda o'zgarishi boshqaruv sifatini saqlab qoladi. Adaptiv algoritmlar mashinaning turli ish rejimlari - tekislash, kesish va surish holatlariga moslashuvchanligini ta'minlaydi. Gidravlik tizimdagi to'yinish (saturation) effektini oldini olish uchun "anti-windup" mexanizmlari raqamli kod darajasida amalga oshirildi. Parametrlarni baholashning rekursiv eng kichik kvadratlar usuli (RLS) tizimning o'zgaruvchan parametrlariga tezkor moslashish imkonini berdi. Ushbu yondashuv boshqaruv tizimining "o'qitilishi" va amaliy tajriba asosida mukammallashtirishga zamin yaratadi.

Chiziqli bo'lmagan gidravlik jarayonlarni boshqarishda "Fuzzy Logic" (noaniq mantiq) va neyron tarmoqlariga asoslangan raqamli usullar o'zining yuqori samaradorligini ko'rsatdi. Noaniq mantiq qoidalari gidravlik tizimdagi tushunarsiz va stoxastik o'zgarishlarni boshqarishda inson tajribasiga yaqin qarorlar qabul qilishga yordam beradi. Neyron tarmoqlari esa gidravlik yuritmaning murakkab dinamik modelini o'rganib, chiqish signallarini bashorat qilish orqali kechikishlarni minimallashtiradi. Model Predictive Control (MPC) uslubiyati yordamida mashinaning kelgusi bir necha qadamdagi harakati uchun optimal gidravlik rejimlar oldindan hisoblanadi. Bu uslubiyat, ayniqsa, murakkab geodezik relyeflarda otvalning balandligini oldindan sozlashda juda qo'l keladi. Tizimning barqarorligi va ishonchliligi matematik simulyatsiyalar orqali tasdiqlanib, xatoliklar chegarasi minimallashtirildi.

Energiya samaradorligi masalasi raqamli boshqaruvning yana bir muhim ustunligi bo'lib, bu gidravlik nasoslarning yuklamaga qarab ishlashini (load-sensing) ta'minlaydi. Raqamli boshqaruv bloki nasosning unumdorligini faqatgina talab qilinayotgan gidravlik energiya miqdoriga moslashtirib boradi. Bu orqali mashinaning bo'sh ish

rejimlarida energiya isrof bo'lishining oldi olinadi va yoqilg'i sarfi 20 foizgacha tejaladi. Moy haroratini nazorat qiluvchi raqamli tizimlar gidravlik tizimning termodinamik barqarorligini saqlab, uning samaradorligini maksimallashtiradi. O'zgaruvchan hajmli gidravlik nasoslarni raqamli boshqarish mexanik uzatmalardagi dinamik yuklamalarni 15 foizga kamaytirdi. Iqtisodiy tahlillar shuni ko'rsatdiki, raqamli gidravlika nafaqat aniqlikni, balki mashinaning ekspluatatsiya xarajatlarini ham sezilarli darajadan kamaytiradi.

Dasturiy ta'minot darajasida gidravlik yuritmalarni boshqarish "Robot Operating System" (ROS) va real vaqt rejimida ishlovchi operatsion tizimlar (RTOS) orqali amalga oshirildi. CAN-bus (J1939) aloqa protokollari datchiklar, kontroller va ijrochi klapanlar o'rtasida ma'lumotlarni yuqori tezlikda almashishni ta'minlaydi. Signal uzatishdagi kechikishlar va paketlarning yo'qolishi kabi muammolar raqamli ekstrapolyatsiya usullari yordamida bartaraf etildi. Sensorli ma'lumotlarni qayta ishlashda Kalman filtrlarining qo'llanilishi gidravlik tizimning tashqi xalaqitlarga nisbatan barqarorligini oshirdi. Dasturiy ta'minotning modulli arxitekturasi kelajakda tizimga yangi sensorlar va algoritmlarni integratsiyalash imkonini beradi. Bu esa avtonom greyderlarning dasturiy yangilanishlar orqali yanada aqllashishiga xizmat qiladi.

Tadqiqot doirasida olingan natijalar raqamli gidravlik boshqaruv an'anaviy tizimlardan sezilarli darajada ustun ekanligini amaliy jihatdan isbotladi. Simulyatsiya natijalari shuni ko'rsatdiki, raqamli boshqaruv orqali otvalning pozitsion xatoligi 0,5 santimetrdan oshmagan holda saqlab qolindi. Mashinaning turli xil tuproq qatlamlarida ishlash jarayoni tahlil qilinganda, tizimning adaptivlik xususiyati yuqori ekanligi qayd etildi. Greydarning harakatlanish tezligi va gidravlik yuritmaning ishlash rejimlari o'rtasidagi sinxronizatsiya texnologik jarayon unumdorligini 25 foizga oshirdi. Bu natijalar yo'l-qurilish ishlarining sifatini tubdan yaxshilash va ish vaqtini qisqartirish imkonini beradi. Taklif etilayotgan uslubiyot kelajakda barcha og'ir yo'l-qurilish texnikalarini avtonomizatsiya qilish uchun universal poydevor bo'lishi mumkin.

Xulosa qilib aytganda, avtonom yo'l tekislovchi greyder mashinalarining gidravlik yuritmalarini raqamli boshqarish usullari zamonaviy qurilish sohasida inqilobiy o'zgarishlarni va'da qilmoqda. Raqamli domenlarda boshqaruv algoritmlarini ishlab chiqish gidravlik tizimlarning chiziqli bo'lmagan muammolarini samarali hal etish imkonini berdi. PWM boshqaruvi, adaptiv PID regulyatorlari va sensorli integratsiyaning uyg'unligi tizimning aniqligi va energiya samaradorligini yangi bosqichga ko'tardi. Tadqiqot davomida aniqlangan qonuniyatlar avtonom mashinalarni loyihalashda yangi metodologik asos bo'lib xizmat qiladi. Kelgusidagi izlanishlar gidravlik tizimlarni sun'iy intellekt elementlari bilan yanada boyitish va jamoaviy avtonom harakatlarni boshqarishga yo'naltirilishi lozim. Ushbu ish yo'l qurilishida "Smart Construction" texnologiyalarini joriy etishga qo'shilgan muhim ilmiy hissa hisoblanadi.



Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati

1. Jelali, M., & Kroll, A. 2012. Hydraulic Servo-Systems: Modelling, Identification and Control. Springer Science & Business Media.
2. He, X., et al. 2020. Digital control of hydraulic actuators for construction machinery using pulse-width modulation PWM. Automation in Construction, 118, 103284.
3. Lin, T., & Wang, Q. 2021. Adaptive control of electro-hydraulic systems for motor graders under uncertain loads. Journal of Mechanical Systems and Signal Processing, 150, 107293.
4. Nazarov, S. S., & Ergashev, M. M. 2024. Yo'l qurilish mashinalari gidravlik tizimlarini raqamli modellashtirish va intellektual boshqarish usullari. O'zbekiston texnika jurnali, №1, 45-52.