

**“TOSHKENT IRRIGATSIYA VA QISHLOQ XO‘JALIGINI  
MEXANIZATSIYALASH MUHANDISLARI INSTITUTI” MILLIY  
TADQIQOT UNIVERSITETI HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR  
BERUVCHI DSc.03/30.12.2019.T.10.01 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

---

**TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI**

**SHERQOBILOV SOBIRJON MENGQOBILOVICH**

**YARIM OSMA PAXTA TERISH MASHINALARINING QATORLAR  
BO‘YLAB YO‘NALTIRISH ANIQLIGI VA MANYOVRCHANLIGINI  
OSHIRISH**

**05.07.01 – Qishloq xo‘jaligi va melioratsiya mashinalari. Qishloq xo‘jaligi va  
melioratsiya ishlarini mexanizatsiyalash**

**TEXNIKA FANLARI BO‘YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD)  
DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI**

**Texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD)  
dissertatsiyasi avtoreferati mundarijasi**

**Оглавление автореферата диссертации доктора  
философии (PhD) по техническим наукам**

**Contents of dissertation abstract of doctor  
of philosophy (PhD) on technical sciences**

**Sherqobilov Sobirjon Mengqobilovich**

Yarim osma paxta terish mashinalarining qatorlar bo‘ylab yo‘naltirish aniqligi va manyovrchanligini oshirish..... 3

**Шеркобилов Собиржон Менгкобилович**

Повышение точности направления по рядкам и маневренности полунавесных хлопкоуборочных машин..... 27

**Sherqobilov Sobirjon Mengqobilovich**

Improving the row guidance accuracy and maneuverability of semi-mounted cotton harvesters ..... 53

**E‘lon qilingan ishlar ro‘yxati**

Список опубликованных работ  
List of published works..... 57

**“TOSHKENT IRRIGATSIYA VA QISHLOQ XO‘JALIGINI  
MEXANIZATSIYALASH MUHANDISLARI INSTITUTI” MILLIY  
TADQIQOT UNIVERSITETI HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR  
BERUVCHI DSc.03/30.12.2019.T.10.01 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

---

**TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI**

**SHERQOBILOV SOBIRJON MENGQOBILOVICH**

**YARIM OSMA PAXTA TERISH MASHINALARINING QATORLAR  
BO‘YLAB YO‘NALTIRISH ANIQLIGI VA MANYOVRCHANLIGINI  
OSHIRISH**

**05.07.01 – Qishloq xo‘jaligi va melioratsiya mashinalari. Qishloq xo‘jaligi va  
melioratsiya ishlarini mexanizatsiyalash**

**TEXNIKA FANLARI BO‘YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD)  
DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI**

**Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2019.1.PhD/T420 raqam bilan ro'yxatga olingan.**

Dissertatsiya Toshkent davlat texnika universitetida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus, ingliz (резюме)) Ilmiy kengashning veb-sahifasi [www.tiame.uz](http://www.tiame.uz) va "ZiyoNet" Axborot ta'lim portalida ([www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz)) joylashtirilgan.

**Ilmiy rahbar:**

**Abdazimov Anvar Daniyarovich**  
texnika fanlari doktori, professor

**Rasmiy opponentlar:**

**Rizaev Anvar Abdullaevich**  
texnika fanlari doktori, professor

**Duskulov Abdusattor Axadovich**  
texnika fanlari nomzodi, dotsent

**Yetakchi tashkilot:**

**O'zbekiston Respublikasi Qishloq xo'jaligi  
vazirligi huzuridagi Qishloq xo'jaligi texnika va  
texnologiyalarini sertifikatlash va sinash markazi**

Dissertatsiya himoyasi Toshkent irrigatsiya va qishloq xo'jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti" milliy tadqiqot universiteti huzuridagi ilmiy darajalar beruvchi DSc.03/30.12.2019. T.10.01 raqamli ilmiy kengashning 2025 yil "\_\_\_\_" \_\_\_\_\_ soat \_\_\_\_\_ dagi majlisida bo'lib o'tadi (Manzil: 100000, Toshkent, Qori Niyoziy ko'chasi, 39-uy. Tel.: (+99871) 237-09-45, faks: (+99871) 237-38-79, e-mail: [admin@tiame.uz](mailto:admin@tiame.uz)).

Dissertatsiya bilan Toshkent irrigatsiya va qishloq xo'jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti" Milliy tadqiqot universiteti Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (\_\_\_\_ raqami bilan ro'yxatga olingan). Manzil: 100000, Toshkent, Qori Niyoziy ko'chasi, 39-uy. Tel.: (+99871) 237-09-45, faks: (+99871) 237-46-68, e-mail: [admin@tiame.uz](mailto:admin@tiame.uz).

Dissertatsiya avtoreferati 2025 yil "\_\_\_\_" \_\_\_\_\_ kuni tarqatildi.  
(2025 yil "\_\_\_\_" \_\_\_\_\_ dagi № \_\_\_\_\_ raqamli reestr bayonnomasi).

**B.S.Mirzaev**

Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy kengash  
raisi, t.f.d., professor.

**U.T.Quziyev**

Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy kengash  
ilmiy kotibi, (PhD), dotsent.

**K.D.Astanaqulov**

Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy kengash  
qoshidagi ilmiy seminar raisi, t.f.d.,  
professor.

## KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi annotatsiyasi)

**Dissertasiya mavzusining dolzarbligi va zaruriyati.** Jahonda yetishtirilayotgan paxta hosilini terib olishda yoqilg'i sarfi va ekspluatatsion xarajatlar ortib borayotgan bir davrda energiya va resurstejamkor paxta terish mashinalarini qo'llash yetakchi o'rinlardan birini egallamoqda. "Dunyo miqyosida paxta ekin maydoni 30 mln. gektarni tashkil etib, 27 mln. tonnaga yaqin paxta terib olinayotganligini hisobga olsak"<sup>1</sup> ish unumi va agrotexnik ko'rsatkichlari yuqori paxta terish mashinalarini ishlab chiqarish va amaliyotga keng joriy etish katta ahamiyat kasb etadi. Shu jihatdan, energiya va resurstejamkorligi bilan ajralib turadigan vertikal shpindelli paxta terish mashinalarini terim jarayonida qatorlar bo'ylab yurish aniqligi va manyovrchanligini oshirish hisobiga ish sifatini yaxshilash hamda ularni keng joriy etish muhim ahamiyatga ega hisoblanadi.

Jahonda paxta hosilini terib olish jarayonida paxtaning yerga tokilishini *камайтириш*, shuningdek, ularning texnologik ish jarayoni va harakatlanishini nazoratlash va boshqarish bo'yicha yangi ilmiy-texnikaviy yechimlarini ishlab chiqishga yo'naltirilgan ilmiy-tadqiqot ishlari olib borilmoqda. Bu borada, jumladan terim to'liqligini oshirish, paxta tolasi shikastlanishi va ifloslanishini kamaytirish hamda energiya va resurslarni tejash imkonini beradigan yarim osma paxta terish mashinalarini yaratishga alohida e'tibor berilmoqda. Shu jihatdan vertikal shpindelli paxta terish mashinalarining harakati kinematikasi, unga ta'sir qiluvchi rul trapetsiyasi va yo'naltiruvchi g'ildiraklarni tadqiq etish va asoslash orqali mashinaning yurish aniqligi va manyovrchanligini oshirish hamda agrotexnik ko'rsatkichlarini yaxshilashga qaratilgan ilmiy-tadqiqot ishlari dolzarb hisoblanadi.

O'zbekiston qishloq xo'jaligi ishlab chiqarishida resurslarni tejash, mehnat va energiya sarfini kamaytirish, qishloq xo'jalik ekinlarini ilg'or texnologiyalar asosida yetishtirish va hosilini yig'ishtirib olish hamda ularni amalga oshirishda qo'llaniladigan yuqori unumli qishloq xo'jalik mashinalarini ishlab chiqarish yuzasidan keng qamrovli chora tadbirlar amalga oshirilmoqda. 2022-2026 yillarda O'zbekiston Respublikasini rivojlantirishning yangi taraqqiyot strategiyasida, jumladan "qishloq xo'jaligini ilmiy asosda intensiv rivojlantirish orqali dehqon va fermerlar daromadini kamida 2 baravar oshirish, qishloq xo'jaligining yillik o'sishini kamida 5 foizga yetkazish"<sup>2</sup> vazifalari belgilab berilgan. Ushbu vazifalarni amalga oshirishda fermer xo'jaliklari va agroklastarlarda paxtani terib olishda xarajatlarni kamaytirish bilan birga ish sifatini oshirishni ta'minlaydigan paxta terish mashinalarini ishlab chiqish muhim vazifalardan hisoblanadi.

Ushbu dissertatsiya tadqiqoti O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi "2022 – 2026-yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risida"gi PF-60-son va 2025-yil 7-yanvardagi "Paxta xom ashyosini yetishtirish va sotishda bozor mexanizmlarini qo'llashni izchil davom ettirish chora-tadbirlari to'g'risida"gi PF-7-son farmonlari hamda 2020-yil 15-sentabrdagi "Paxta hosili terimini mexanizatsiyalashni moliyaviy qo'llab-quvvatlash chora-tadbirlari

<sup>1</sup> Cotton World Statistics.<http://www.ICAC.org:statica.com>

<sup>2</sup> O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yil 28 yanvardagi PF-60-son «2022-2026 yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risida»gi [Farmoni](#)

to'g'risida"gi PQ-4828-son va 2024-yil 12-dekabrdagi "Qishloq xo'jaligini mexanizatsiyalash darajasini yanada oshirish chora-tadbirlari to'g'risida"gi PQ-431-son qarorlari hamda mazkur faoliyatga tegishli boshqa meyoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishga ushbu dissertatsiya tadqiqoti muayyan darajada xizmat qiladi.

**Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo'nalishlariga mosligi.** Mazkur tadqiqot respublika fan va texnologiyalar rivojlanishining II. "Energetika, energiya va resurstejamkorlik" ustuvor yo'nalishi doirasida bajarilgan.

**Muammoning o'rganilganlik darajasi.** Paxta terish mashinalari parametrlarini asoslash, hamda ish ko'rsatkichlarini yaxshilash bo'yicha xorijda W.S. Anthoty, D.G. Batchhelder, R. Borman, R.C. Ecriey, W. Faulkner, S.E. Hughs, W.D. Mayfiyeld, C. Parnell, R. Rohrbach, W.E. Taylor, B. Shaw va boshqalar tomonidan tadqiqotlar olib borilgan.

O'zbekistonda paxta etishtirishda foydalaniladigan mashina traktor agregatlari harakatini boshqarish va qatorlar bo'ylab yo'naltirish barqarorligini oshirish bo'yicha ilmiy izlanishlar, asosan, Y.L. Kolchinskiy, I. Marupov, D.I. Xoshimov, G.G.Rasulov, R.D. Matchanov, M.T. Toshboltayev, O.V. Lebedev, A.A. Axmetov, G.E.Topilin, N.B.Barer, Y.V.Groxovski, I.N.Azarov, B.A.Qambarov va boshqalarning tadqiqot ishlarida ko'rib chiqilgan.

Bu tadqiqotlar davomida shakllantirilgan g'oyalar, takliflar va tavsiyalar PTM konstruksiyalari va texnologik ish jarayonlarini takomillashtirish yo'nalishlarida muayyan ijobiy natijalarga erishilgan holda qo'llanib kelinmoqda. Ammo PTM harakatini boshqarish va barqarorligini tadqiqot ishlari asosan, traktorga osma mashinalarga bag'ishlangan, so'nggi yillarda seriyalab ishlab chiqarilib qo'llanilayotgan traktorga yarim osma paxta terish mashinasini ish unumi va hosilni terish to'liqligi va ish unumiga sezilarli ta'sir qiluvchi mashinani qatorlar bo'ylab yuritish aniqligi va manevrchanligi masalalari etarlicha o'rganilmagan.

**Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan oliy ta'lim yoki ilmiy-tadqiqot muassasasining ilmiy tadqiqot ishlari rejasi bilan bog'liqligi.** Toshkent davlat texnika universiteti ishtirokida bajarilgan MV-Atex-2018-92, BV-Atex-2018-13 "Yuqori texnik ko'rsatkichli 60 sm qator oralig'i uchun to'rt qatorli yarim osma vertikal shpindelli paxta terish mashinasini ishlab chiqish" mavzusidagi idoralararo davlat ilmiy amaliy loyiha doirasida, ToshDTU bo'limi - "To'rt qatorli 60 sm qator oralig'i uchun yarim osma vertikal shpindelli paxta terish mashinasining manevrchanligi va boshqaruvchanligini, texnologik rostdashlarining barqarorligini oshirish" mavzusida bajarilgan.

**Tadqiqotning maqsadi** MX seriyali traktorga yarim osma paxta terish mashinalarining qatorlarda harakatlanish aniqligi va manyovrchanligini, pirovardida samaradorligini oshirish bo'yicha texnik yechimlar va tavsiyalar ishlab chiqishdan iborat.

#### **Tadqiqotning vazifalari:**

muammoning xozirgi xolatini o'rganish va osma vertikal shpindelli paxta terish mashinalari ko'rsatkichlarining avval ishlab chiqarilgan osma paxta terish mashinalari larnikidan pastligi sabablarini aniqlash;

MX seriyali yarim osma paxta terish mashinasining burilish kinematikasini nazariy tadqiq qilish, agregatning burilib qaytish parametrlarini aniqlash;

MX-2,4 paxta terish mashinasi rul yuritmasining asosiy parametrlarini grafoanalitik usulda KOMPAS 3D dasturida tadqiq qilish va optimallashtirish;

yarim osma PTM yo'naltiruvchi g'ildiragi avtotebranishlarini tadqiq qilish va rul boshqaruvi kinematik parametrlarini asoslovchi texnik yechimlar va tavsiyalar ishlab chiqish;

yarim osma paxta terish mashinasi yo'naltiruvchi g'ildiragi holatini avtomatik nazorat tizimi sxemalari va parametrlarini asoslash, yo'naltirgich-ko'rsatkich qurilmalari tajriba na'munalarini MX-1,8 va MX-2,4 paxta terish mashinalarida joriy qilish;

taklif qilingan texnik yechimlarning loyiha hujjatlarini ishlab chiqish, tayyorlash va ushbu qurilmalar bilan jihozlangan paxta terish mashinasini dala sinovlaridan o'tkazish hamda iqtisodiy samaradorligini baholash.

**Tadqiqotning obyekti** sifatida qator oralig'i 0,6 m bo'lgan dalalarda hosilni terib olish uchun mo'ljallangan to'rt qatorli MX-2,4 vertikal shpindelli paxta terish mashinasi, uning rul yuritmasi olingan.

**Tadqiqotning predmetini** MX seriyali vertikal shpindelli paxta terish mashinasining orqa ko'prigida joylashgan yo'naltiruvchi g'ildiraklari hamda rul yuritmalarining parametrlari va matematik modellari, analitik bog'lanishlar, paxta terish mashinasining maqbul burilish usullarini tashkil etadi.

**Tadqiqotning usullari.** Tadqiqot jarayonida oliy matematikaning asosiy qonunlari, nazariy mexanika, matematik statistika usullari, qishloq xo'jalik mashinalari nazariyasi, hamda kompyuterli modellashtirish kabi usullardan foydalanilgan, eksperimental tadqiqotlar mavjud me'yoriy xujjatlarda (GOST 26025-83, GOST 209152011, O'z Dst 3090:2016, GOST 24096-80, GOST 7057-2001, GOST 7463-2003) keltirilgan usullar qo'llanilgan.

**Tadqiqotning ilmiy yangiligi** qo'yidagilardan iborat:

yarim osma paxta terish mashinalarida yo'naltiruvchi g'ildiraklarning burilish burchagini o'lchash orqali ularning holatini avtomatik nazorat qilish va mashinaning qatorlar bo'ylab aniq yo'naltirilishini ta'minlash imkonini beradigan tizim ishlab chiqilgan;

MX-2,4 yarim osma paxta terish mashinasi burilishini "Quick Basic" dasturida modellashtirish orqali agregat markazi va uning boshqa harakterli nuqtalarining burilib qaytishdagi traektoriyalari aniqlangan, shuningdek taklif qilinayotgan "1,5 karra ishlov berish" texnologiyasida yalpi hosilni ketma-ket ikki o'tishda terib olish uchun agregatning burilib qaytish sxemalari va parametrlari asoslangan;

MX-2,4 paxta terish mashinasi rul trapetsiyasi yon richaglarining ichki va tashqi burilish burchaklarining yo'naltiruvchi g'ildiraklar xarakatini barqarorligini ta'minlaydigan asosiy parametrlari - ko'ndalang tortqi uzunligi va yon richaglar og'ish burchaklarining maqbul qiymatlari grafoanalitik usulda aniqlangan;

"Matlab-Simulink" dasturi asosida yarim osma paxta terish mashinalarida yo'naltiruvchi g'ildiraklarining g'o'za qator oralarida harakatlanishini simulyatsiya

qilish modeli ishlab chiqilgan va ularning avtotebranishlari giroskopik effektga bog'liq holda aniqlangan.

**Tadqiqotning amaliy natijalari** quyidagilardan iborat:

yangi taklif qilinayotgan hosilni ketma-ket ikki o'tishda qatorlarga "1,5 marotaba" ishlov berish texnologiyasi uchun MX rusumidagi paxta terish mashinalari uchun burilib qaytish yo'lagi o'lchamlari va vaqtini minimallashtirish mezoniga ko'ra burilib qaytish sxemalari tavsiya etildi;

MX-2,4 paxta terish mashinasi manevrchanligi va harakat aniqligini ta'minlovchi rul trapetsiyasi parametrlari asoslandi, yo'naltiruvchi g'ildirak holatini avtomatik nazorat tizimi va yo'naltirgich-ko'rsatkich qurilmasi kabi texnik yechimlar ishlab chiqildi, ularni joriy qilish agregatni dala chetida burilib qaytish vaqti va masofasini 50 foizdan ziyodga kamaytirish, g'o'za qatorida yuritish aniqligini qariyb ikki barobar oshirish imkonini berdi.

**Tadqiqot natijalarining ishonchliligi.** Tadqiqot natijalarining ishonchliligi topshiriqqa mos keluvchi tadqiqot usullarini tanlanishi, keltirilgan tahlillar va ishlab chiqilgan matematik model tajriba-sinov natijalari bilan tasdiqlanganligi, olingan natijalarning vakolatli idoralar tomonidan tasdiqlanganligi bilan izohlanadi.

**Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati.** Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati ishlab chiqilgan matematik modellar, optimallashtirish uslubi, paxta terish mashinasini boshqariluvchi ko'prigi va rul trapetsiyasi konstruksiyasi va parametrlarini takomillashtirish tavsiyalarini amalga oshirish agregat manevrchanligi, uning g'o'za qator oralarida harakatlanish aniqligini oshirish, provardida mashinaning texnik darajasini oshirishda foydalanish mumkinligi bilan izohlanadi.

Tadqiqotning amaliy ahamiyati avtomatik nazorat tizimi va yo'naltirgich-ko'rsatkich qurilmalari bilan jihozlangan MX-1,8 va MX-2,4 paxta terish mashinalari tajriba na'munalari qo'llanilganda agregat burilib qaytish yo'li, vaqti va burilib qaytish yo'lagi kengligining o'rtacha qiymati bo'yicha seriyali mashinadan 10-20 foiz ustunlikka ega, agregatning smenadagi ish unumdorligi ham shu qiymatlarga oshishi, hamda terish apparati simmetriya o'qining g'o'za qatori o'qidan og'ishi o'rtacha arifmetik kattaligi qariyb 2 barobarga kamayganligi, pirovardida mashinaning ish sifati yaxshilanadi, terim to'liqligini 2,5-5 foizgacha oshirish imkoniyati yaratilganligi bilan izohlanadi.

**Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi.** Yarim osma paxta terish mashinalarining qatorlar bo'ylab yunaltirish aniqligi va manyovrchanligini oshirish bo'yicha olingan natijalar asosida:

vertikal shpindelli paxta terish apparati seksiyalarining qo'zg'aluvchan ramkasiga O'zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi huzuridagi Intellektual mulk markazining foydali modelga FAP 01580 raqamli patent olingan (O'z avtosanoat AJ ning 2024 yil 25 - apreldagi 17/07-25-0566 –son m'lumotnomasi). Natijada paxta terish apparatlari barabanlari orasidagi tirqishni avtomatik rostlash imkoni yaratilgan;

yo'naltiruvchi g'ildiraklar holatini avtomatik nazoratlash tizimi va yo'naltirgich-ko'rsatkich bilan jihozlangan MX-2,4 yarim osma paxta terish mashinasi Qishloq xo'jaligi texnika va texnologiyalarini sertifikatlash va sinash markazida sinovlardan o'tkazilgan (O'z avtosanoat AJ ning 2024 yil 25 - apreldagi 17/07-25-0566 –son



m'lumotnomasi). Natijada paxta terish mashinasining g'o'za qatorlarida harakatlanish aniqligini oshirish, terish apparati simmetriya o'qining g'o'za qatori o'qidan og'ishi o'rtacha arifmetik kattaligini qariyb 2 martaga kamaytirish, pirovardida terim to'liqligi 2,5-5 foizgacha oshirishga erishilgan;

ishlab chiqilgan yangi texnik yechimlar – yo'naltiruvchi g'ildirak holatini avtomatik nazorat tizimi va yo'naltirgich-ko'rsatkich qurilmasining asoslangan sxemalari va parametrlaridan foydalanish uchun "Qishloq xo'jaligi mashinasozligi konstruktorlik-texnologik markazi" MChJga topshirilgan (O'zavtosanoat AJ ning 2024 yil 25 - apreldagi 17/07-25-0566 –son m'lumotnomasi). Natijada joriy qilinayotgan agregatni dala chetida burilib qaytish vaqti va masofasini 50 foizdan ziyodga kamaytirish, g'o'za qator oralarida harakatlanish aniqligini qariyb ikki barobar oshirish imkonini beradi.

**Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi.** Mazkur tadqiqot natijalari 6 ta xalqaro va 2 ta respublika ilmiy-amaliy anjumanlarida muhokamadan o'tkazilgan.

**Tadqiqot natijalarining e'lon qilinganligi.** Dissertatsiya mavzusi bo'yicha jami 16 ta ilmiy ishlar nashr etilgan, shulardan, O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasining dissertatsiyalar asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan ilmiy nashrlarda 5 ta, jumladan, 4 tasi respublika va 1 tasi xalqaro jurnallarda, respublika va xalqaro anjumanlar to'plamlarida 8 ta, hamda 1 ta foydali modelga va 2 ta dasturiy ta'minotga patent olingan.

**Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi.** Dissertatsiya tarkibi kirish, uchta bob, xulosalar va tavsiyalar, foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati va ilovalardan iborat. Dissertatsiyaning hajmi 121 betni tashkil etgan.

## **DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI**

**Kirish** qismida o'tkazilgan tadqiqotlarning dolzarbligi va zarurati asoslangan, tadqiqot maqsadi va vazifalari, ob'ekti va predmetlari tavsiflangan, respublika fan va texnologiyalari taraqqiyotining ustuvor yo'nalishlariga mosligi ko'rsatilgan, tadqiqotning ilmiy yangiligi va amaliy natijalari bayon etilgan, olingan natijalarning nazariy va amaliy ahamiyati ochib berilgan, tadqiqot natijalarining amaliyotga joriy etilganligi, ishning aprobatsiya natijalari, e'lon qilingan ishlar va dissertatsiyaning tuzilishi bo'yicha ma'lumotlar keltirilgan.

Dissertatsiyaning "**Muammoning hozirgi holati va tadqiqot vazifalari**" deb nomlangan I-bobida dissertatsiya mavzusiga doir paxta terish mashinasini takomillashtirish bo'yicha ilmiy tadqiqot ishlari, MX rusumidagi paxta terish mashinasining o'ziga xos xususiyatlari, hosilni yangi takomillashtirilgan texnologiyada yig'ishtirib olish samaradorligini oshirish yo'llari, paxta terish mashinasining harakatlanish aniqligi va manyovrchanligini baholaydigan asosiy omillar, manyovrchanlikni oshirish bo'yicha olib borilgan tadqiqot ishlarining tahlili, traktorga yarim osma paxta terish mashinasining rul boshqaruvi tuzilmasi va texnik tavsiflari tahlil etilgan hamda tadqiqotning maqsad va vazifalari shakllantirilgan.

Traktorga osma XNP-1,8B 14XV-2,4A rusumli mashinalarda boshqarish kabinasi YG'ning ustiga joylashgani sababli, haydovchi ish jarayonida ishlayotgan dalani yaxshi ko'ra oladi va terish apparatining ishchi tirqishini g'o'za qatoriga

bo'ylama o'qi bilan mos bo'lishini ta'minlaydi.

Yuqorida aytib o'tilganidek, 3 g'ildirakli traktorga osma XNP-1,8B 14XV-2,4A rusumli PTMlardan farqli ravishda MX seriyadagi MX-1,8, MX-2,4 va XM-2,8 rusumidagi yarim osma paxta terish mashinasida agregatni g'o'za qatorlariga yo'naltirish ancha murakkablashgan - traktor kabinasidan haydovchiga traktor kapoti va paxta qatorlari ko'rinadi, shu sababli u diqqatini traktor kapotining burchaklariga qaratadi va shu mo'ljal bilan agregatni qatorlarga yo'naltiradi, bunda paxta terish mashinasining qatorlarda harakatlanish aniqligi pasayishiga, pirovardida, hosilni yerga to'kilishini oshishiga va terim sifatini yomonlashuviga olib keladi. Bundan tashqari, burilish yo'lagidan harakatlanganda, orqadagi yo'naltiruvchi gildiraklar qanday holatda ekanligini ko'ra olmaydi, haydovchi manyovrni qay tarzda bajarayotganligini aniq bilmaydi.

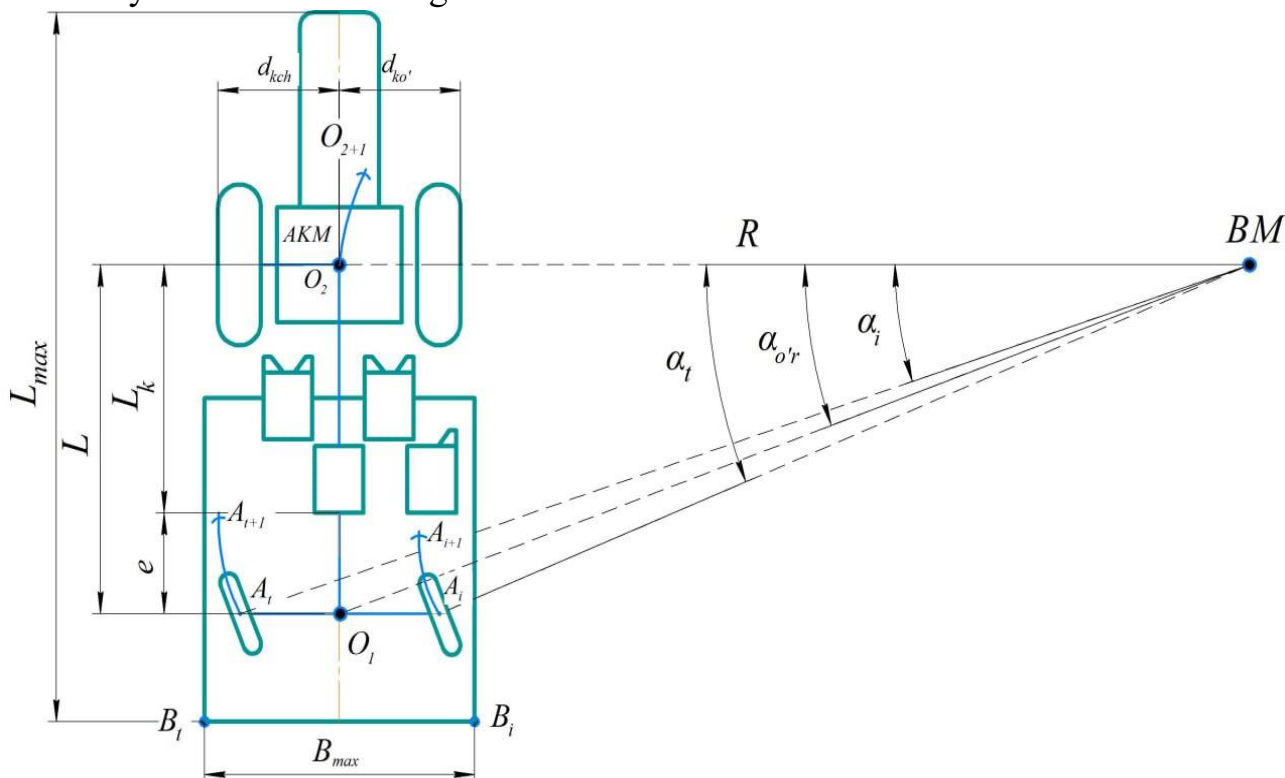
Muammoning hozirgi holatini tahlili shuni ko'rsatadiki, hozirgi vaqtga qadar MX seriyadagi traktorga yarim osma paxta terish mashinasi harakati kinematikasi, unga ta'sir qiluvchi rul trapetsiyasi va yo'naltiruvchi gildiraklarni o'rnatish parametrlarini nazariy va eksperimental tadqiq etish dolzarb bo'lib qolmoqda.

Dissertatsiyaning **“MX-2,4 PTMning burilish kinematikasi va qatorlarda harakatlanish aniqligini nazariy tadqiqotlari”** deb nomlangan II-bobida tadqiqot ob'ekti MX-2,4 PTMning kinematik parametrlari va manyovrchanlik ko'rsatkichlari, PTMning burilib qaytish kinematikasini Quick Basic dasturi yordamida modellashtirish, rul yuritmasining asosiy parametrlarini grafoanalitik usulda KOMPAS 3D dasturida optimallashtirish va paxta terish mashinasini boshqariluvchi g'ildiraklarining g'o'za qator oralarida harakatlanishidagi avtotebranishlarini tadqiq qilish natijalari tahlili keltirilgan.

Agregatning kinematikasini belgilovchi eng muhim parametrlar quyidagilardir: agregatning kinematik uzunligi- $L_k$ ; agregatning kinematik kengligi- $d_k$ ; bo'ylama bazasi- $L$ ; Agregatning chiqish uzunligi- $e$  (1-rasm).

MX-2,4 PTMning burilib qaytish kinematikasini Quick Basic dasturi yordamida modellashtirish va natijalar taxlili. MTAlarining asosiy turlari, sxemalarini tahlil qilish, yarim osma MX seriyali MX-1,8, MX-2,4 rusumidagi “Toshkent qishloq xo'jaligi mashinasozligi zavodi (TQXMZ)” AJda va “Gomselmash” OAJda (Belarus Respublikasi) ishlab chiqarilgan XMP-1,8 paxta terish mashinasi sxemasi (1-rasm) ma'lum MTA turlari klassik sxemalarning hech biriga mos kelmaydi, bu uning o'ziga xosligi, shu bilan birga, burilib qaytish kinematikasi yetarlicha o'rganilmaganligini ta'kidlaydi. Shu sababli, 0,6 m li qator oralig'i uchun to'rt qatorli PTMning burilish kinematikasini va manyovrchanligini tadqiq qilish, burilish yo'lagi o'lchamlarini asoslash, agregatning manevrchanligi va g'o'za qatorlarida harakatlanishi aniqligini yaxshilash bo'yicha texnik yechimlar va tavsiyalar ishlab chiqish alohida ahamiyatga ega.

VSh PTM ning ishchi tezligi 1,5 m/s dan oshmasligi sababli, g'oz qatorlari bo'ylab harakatlanish va burilishda agregatni barcha nuqtalarining harakat traektoriyasini kinematik o'rganish mumkin.



**1-rasm. Yarim osma MX-2,4 PTM burilishida agregat markazining joylashishi va uning kinematik tavsiflari (etakchi va boshqariluvchi ko'priklar g'ildiraklari orasidagi masofa - koleya teng qilib olingan)**

Ma'lumki, g'ildirakli MTA burishining asosiy usuli gorizontall tekislikda bir juft g'ildirakni ikkinchisiga nisbatan aylantirishdir. Yuqorida aytib o'tilganidek, burilish radiusi ikkita YG'li traktor yoki MTA uchun burilish sxemasi elementlarining geometrik nisbatlari bilan aniqlanadi:

$$R = L \cdot \operatorname{ctg} \alpha_{o'r} \quad (1)$$

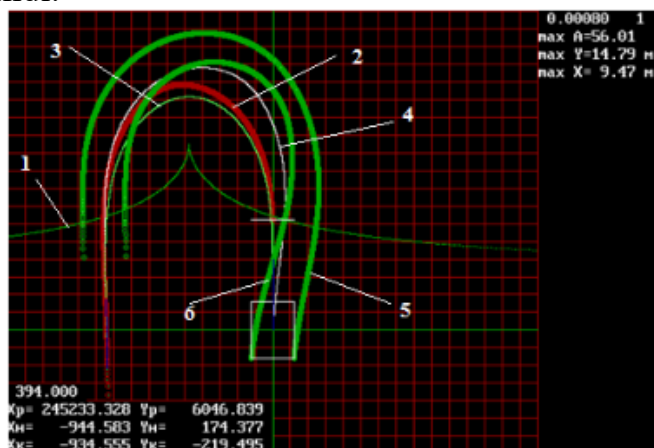
bunda  $L$  – mashinaning bazasi, m;  $\alpha_{o'r}$  – ichki  $\alpha_i$  va tashqi  $\alpha_t$  g'ildiraklarning o'rtacha burilish burchagi:

$$\alpha_{o'r} = \frac{\alpha_i + \alpha_t}{2} \quad (2)$$

Burilish jarayonida burilish radiusi cheksizlikdan minimal radiusga va yana cheksizlikka o'zgaradi. Ushbu burilish sxemasini quyidagi shaklda ifodalash mumkin (2-rasm). MX tipidagi PTM ning o'ng YG'ning o'rtasi harakatning traektoriyasi A nuqta berilgan bu nuqta mashinaning yo'naltiruvchi nuqtasi deb ataladi, bunda g'ildiraklarning yonboshga sirpanishi yo'q degan joizlik qabul qilingan. Yetakchi g'ildiraklar markazlarini bog'laydigan kesmaning o'rtasida joylashgan  $O_2$  nuqta (1-rasm) agregatning kinematik markazi bo'ladi.

Agregatning harakat traektoriyasini belgilovchi muhim harakterli nuqtalarining traektoriyalari grafoanalitik usulda Quick Basic dasturi yordamida modellashtirildi va ushbu nuqtalarini burilib qaytishdagi harakatini hisoblash va traektoriyalarini qurish natijalari 1-jadvalda va 2-rasmda keltirilgan.  $O_{2+1}$  va  $A_{i+1}$  nuqtalari (1-rasm) ning

ma'lum o'lchamlariga ko'ra, agregatlar xarakterli nuqtalarining quyidagi koordinatalari aniqlandi.



1-oniy aylanish markazi BM; 2- agregat kinematik markazi – (AkM) O<sub>2</sub> nuqtasi; 3- A<sub>i</sub> ichki YG'ning izi; 4-tashqi yo'naltiruvchi g'ildirak A<sub>t</sub> ning izi; 5- agregatning eng chetki tashqi nuqtasi B<sub>t</sub>; 6- agregatning eng chetki ichki nuqtasi B<sub>t</sub> (1-rasm).

## 2-rasm. MX-2,4 PTM harakterli nuqtalarining burilib qaytishdagi traektoriyalari

Burilish sxemasi bo'yicha qayrilib olish yo'lining parametrlarini (uzunlik X<sub>p</sub> va kenglik Y<sub>p</sub> ning koordinatali to'rida, mm) hisoblash bilan olingan natijalarini tahlil qilish MX-2,4 yarim osma PTM uchun ko'rsatilgan parametrlar boshqa ikki PTM lari ma'lumotlariga nisbatan yuqoriroqdir, chunki u XMP-1,8 va o'ziyurar John Deere 9970 ga nisbatan katta bazaga ega.

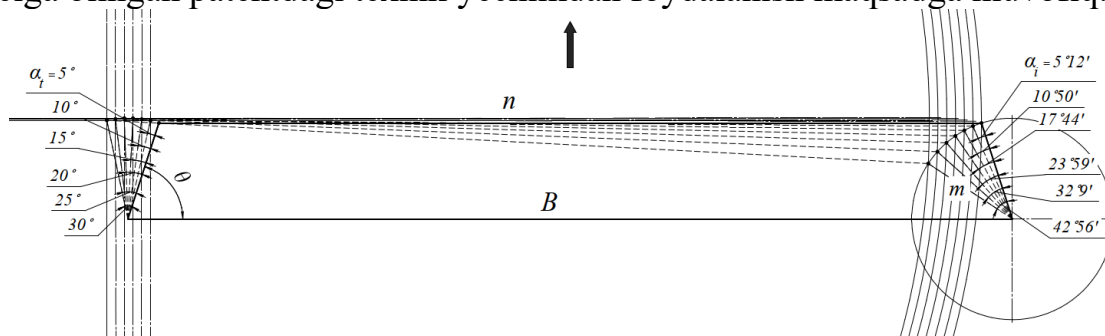
## 1-jadval

### Yarim osma MX-2,4 va XMP -1.8, o'ziyurar John Deere 9970 PTM larining burilib qaytish yo'lining ko'rsatkichlarini hisoblash natijalari

PTM rusumi	Mashina bazasi, mm	Traktor g'ildiragi burchak tezligi, rad/s	Qayrilib olish yo'li parametrlari, mm	
			uzunligi X <sub>p</sub>	kengligi Y <sub>p</sub>
MX-2,4	3940	0,0008	9470	14790
XMP-1,8	3550	0,0009	8310	13060
John Deere 9970	3321	0,001	7450	11950

Olingan ma'lumotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, orqa YG'larning holati PTM burilish traektoriyasiga sezilarli darajada ta'sir qiladi. Haydovchiga YG'larning harakat vaqtidagi holati to'g'risida ma'lumot berish, umuman, agregatning boshqaruvchanligini yaxshilashga, xususan, burilib qaytishlar va mashinani g'o'za qatorlarida yuritish aniqligini oshirishga yordam beradi. Bunday ma'lumotni YG'ning burilish burchagini avtomatik o'lchash va nazorat qilish tizimi (YG' ANT) bilan jihozlash orqali olish mumkin. Shuningdek, yarim osma mashinalar orasida XMP-1,8 rusumli PTM burilib qaytish parametrlari MX rusumlilarga nisbatan yaxshiroq (1-jadval). Buning sababi ushbu mashinada TAlari bir chiziqda, "frontal" joylashganligi natijasida agregat bazasi qariyb 0,4 m ga qisqa. TA "tandem" shaklida joylashtirishga asos sifatida ularga texnik xizmat ko'rsatishga qulaylik yaratish deb olinganini e'tiborga olsak, "frontal" kompanovkaga (XNP-1,8 mashina-lardagi kabi) qaytish

uchun muallif ishtirokida ishlab chiqilgan “VSh PTA qo‘zg‘aluvchan ramkasi” foydali modelga olingan patentdagi texnik yechimdan foydalanish maqsadga muvofiq.



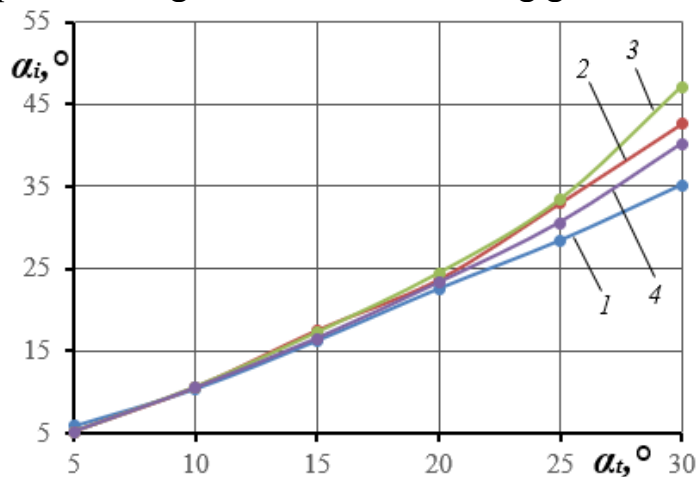
$\theta$ –rul trapetsiyasi burish richagining qiyalik burchagi, grad;  $B$ –shkvorenlar o‘qlari orasidagi masofa, mm;  $m$ – burish richagining uzunligi, mm.

**3-rasm. MX-2,4 PTM rul trapetsiyasining ko‘ndalang tortqisi uzunligi  $n$  ni (-1), (0) va (+1) variantlarda o‘zgartirib yon burish richagining ichki burilish burchagini grafoanalitik usulda aniqlash**

MX rusumli PTMning burilish jarayonida YG‘ barqarorligi (sirpanmasdan dumalash) talablarini ta‘minlanishi rul trapetsiyasi konstruksiyalari asosida g‘ildiraklarning burilish jarayoni grafoanalitik usulda tekshirildi. Buning uchun KOMPAS 3D dasturida tashqi g‘ildirak burilish burchagiga bog‘liq ravishda ichki g‘ildirak burilish burchagi aniqlandi (4-rasm). Bunda ichki burilish burchagining nazariy qiymati  $\alpha_i$  quyidagi bog‘liqlik yordamida aniqlandi:

$$ctg\alpha_t - ctg\alpha_i = \frac{B}{L} \quad (3)$$

buunda  $\alpha_t$ – tashqi burilish burchagi, grad;  $\alpha_i$ – ichki burilish burchagi, grad;  $M$ –shkvorenlar o‘qlari orasidagi masofa;  $L$  –PTMning g‘ildirak bazasi.



1– $\alpha_{in}$  nazariy ichki burilish burchagi; 2 –  $\alpha_{ihaq}$  (0) mavjud konstruksiyaning grafoanalitik usulda aniqlangan ichki burilish burchagi; 3 –  $\alpha_{ihaq}$  (-1) taklif etilayotgan konstruksiyaning grafoanalitik usulda aniqlangan ichki burilish burchagi; 4 –  $\alpha_{ihaq}$  (+1) taklif etilayotgan konstruksiyaning grafoanalitik usulda aniqlangan ichki burilish burchagi

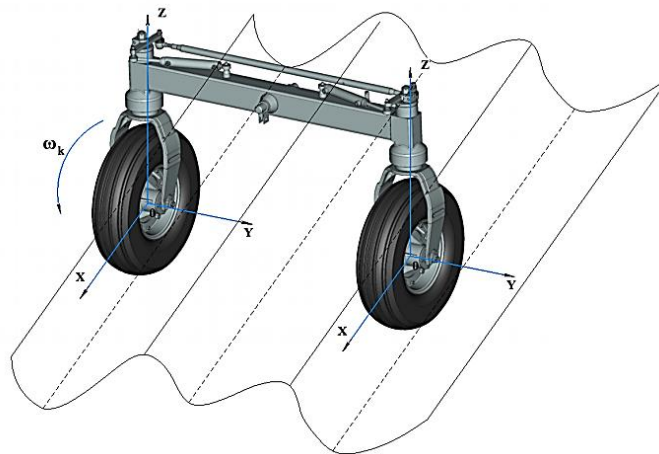
**4-rasm. MX-2,4 PTMning rul trapetsiyasida yon burish richagining ichki burilish burchaklarining tashqi burilish burchaklariga nisbatan o‘zgarishi grafiklari**

Yuqorida keltirilgan grafiklar asosida  $(-1)$ ,  $(0)$  va  $(+1)$  qiymatlardan qaysi birida xatolik kichik, ya'ni qaysi o'lcham optimal ekanligini ko'rishimiz mumkin. Tadqiqot natijalariga asosan rul trapetsiyasi ko'ndalang tortqisi uzunligining optimal qiymati o'ziyurar 4 qatorli PTMlar: "John Deere 9970" da  $n=1810$  mm, "CASE 420"da esa 1430 mm, ni tashkil qildi. Tadqiqot ob'ekti sifatida olingan MX-1,8 va MX-2,4 PTMlarining rul trapetsiyasida ichki burilish burchaklarining unga to'g'ri keladigan tashqi burilish burchaklariga nisbatan o'zgarish grafigida  $(+1)$  holatda grafoanalitik usulda aniqlangan qiymatlar nazariy qiymatlarga yaqin chiqdi. Bunga ko'ra rul trapetsiyasining ko'ndalang tortqisi uzunligining optimal qiymati MX-1,8 uchun  $n=1740$  mm, MX-2,4 uchun  $n=1110$  mm, deb qabul qilish mumkin.

PTM YG'larining g'o'za qator oralarida harakatlanishidagi avtotebranishlarini tadqiq qilish. PTM ning ishlash jarayonida g'o'za qatorlari egatlarining notekisliklari YG'larning vertikal tebranishlarini va g'ildiraklarda girokopik momentni keltirib chiqaradi. Mashinaning YG'lar osma tizimi(ko'prigi)da ikki tekislikda burchakli tebranishlar mavjud (5-rasm).

YOZ tekisligida burchakli tebranishlari parametrlari:  $\psi$ -g'ildirak o'qining egilish burchagi;  $C_\psi$ -osmaning burchakli bikrligi;  $J_\psi$ -g'ildirakning inersiya momenti ( $x$ -o'qi atrofida).

XOY tekisligida burchakli tebranishlari:  $\phi$ -g'ildirakning burilish burchagi;  $C_\phi$ -rul yuritmasi va detallarining bikrligi;  $J_\phi$ -g'ildirakning inersiya momenti ( $z$ -o'qi atrofida);  $J_k$ -g'ildirakning inersiya momenti ( $y$ -o'qi atrofida);  $u$ -tashqi ta'sir.



**5-rasm. Yo'naltiruvchi g'ildiraklarning egat bo'ylab harakatlanish sxemasi**

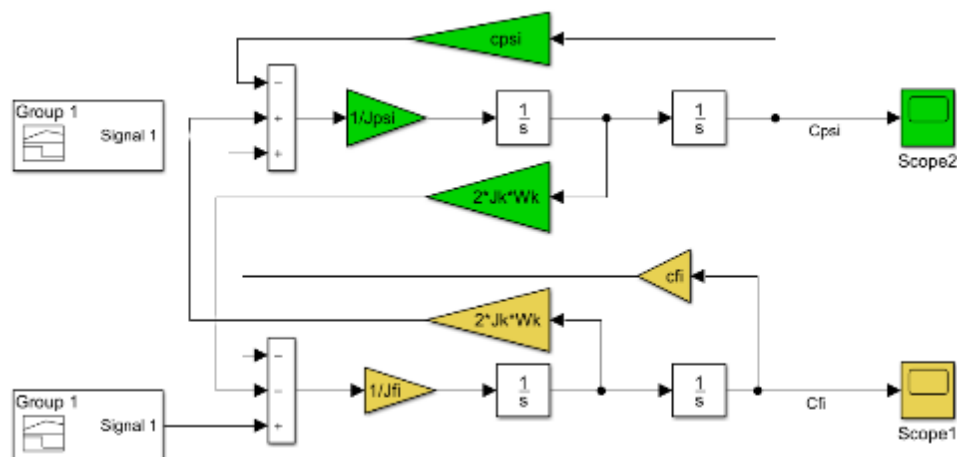
Ushbu tebranishlar girokopik effekt bilan bog'langan quyidagi tenglamalar tizimlari bilan tavsiflanadi:

$$\begin{cases} J_\psi \ddot{\psi} + 2J_k \omega_k \dot{\phi} + C_\psi \psi + u = 0 \\ J_\phi \ddot{\phi} - 2J_k \omega_k \dot{\psi} + C_\phi \phi + u = 0 \end{cases} \quad (3)$$

bunda  $\psi = A \sin \omega t$ ;  $\dot{\psi} = A \omega \cos \omega t$ ;  $\ddot{\psi} = -A \omega^2 \sin \omega t$ ;  $\phi = B \sin \omega t$ ;  $\dot{\phi} = B \omega \cos \omega t$ ;  $\ddot{\phi} = -B \omega^2 \sin \omega t$ ;

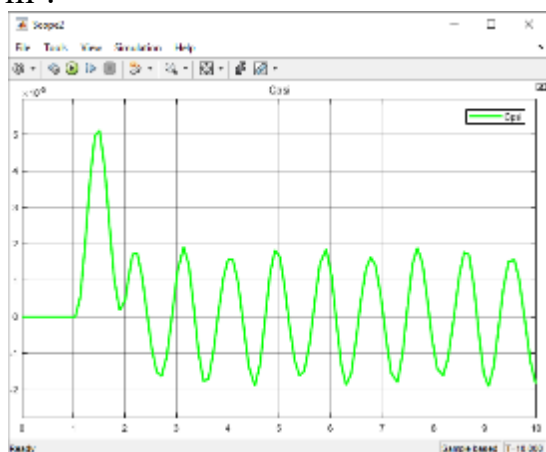
MX-1,8 PTM YG'ning harakatini modellashtirish va simulyatsiya qilish Matlab dasturining Simulink bo'limi (6-rasm) yordamida amalga oshirildi. Tizimning vizual sinovi juda samarali bo'lib, eksperimental (dala, laboratoriya) sinovlarga qaraganda

ancha arzon va kam vaqt talab qiladi. Bunda mashina harakatini simulyatsiya qilish, virtual sinab ko‘rish va bajarish, hamda tizimning kirishdagi va chiqishdagi parametrlarini olish hamda parametrlarini o‘zgartirib tizimni sinash imkonini berdi.

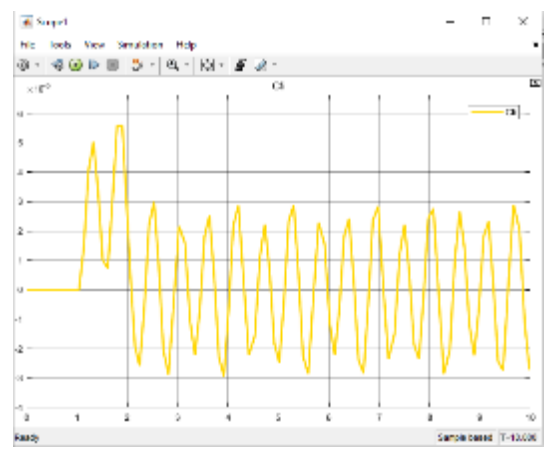


**6-rasm. PTM yo‘naltiruvchi g‘ildiraklari harakati Simulink modeli**

YG‘ning Matlab-Simulink dasturida olingan burchakli tebranishlari grafiklari 7-rasmda keltirilgan. Bunda boshlang‘ich ma‘lumotlar sifatida quyidagilar qabul qilingan:  $J_k=13.938 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$ ;  $C_\psi=39753 \text{ N/m}$ ;  $J_\psi=825 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$ ;  $C_\phi=39573 \text{ N/m}$ ;  $J_\phi=110 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$ .



*a*



*b*

*a*- g‘ildirak o‘qining egilishi; *b*- g‘ildirakning burilishi.

**7-rasm. YG‘ning burchak tebranishlari grafiklari**

Modellashtirish, ya‘ni PTM YG‘lari harakatini simulyatsiya jarayoni 10 sekund davomida olingan natijalarga ko‘ra YOZ tekisligi bo‘yicha g‘ildirak o‘qining egilish burchagi 1,5 s da o‘zining maksimal amplitudasiga etadi ( $5^\circ$ ) va 3 s dan boshlab bir xil amplitudada ( $1^\circ\div 2^\circ$ ) tebranishda davom etib harakatlanadi. XOY tekisligi bo‘yicha g‘ildirak burilish burchagi 2 s da o‘zining maksimal amplitudasiga etadi ( $5,5^\circ$ ) va 2 s dan boshlab bir xil amplituda bilan ( $2^\circ\div 3^\circ$ ) tebranishda davom etib harakatlanadi.

Dissertatsiyaning “MX-2,4 PTMning harakatlanish aniqligi va manyovrchanligini oshirish bo‘yicha texnik yechimlar ishlab chiqish va dala sinovlariga tayyorlash” deb nomlangan III–bobida MX–2,4 PTMni YG‘ holatini avtomatik nazorat tizimi (ANT) sxemasi va parametrlarini, PTM rul trapetsiyasining



kinematik parametrlarini asoslash, hamda yo‘nalish ko‘rsatkichi va YG‘ holatini ANT bilan jihozlangan tajribaviy yarim osma MX–2,4 PTMning laboratoriya-dala sinovlari dasturi va metodikasi keltirilgan.

YG‘ ANT g‘ildirak burilish burchagini o‘lchash va natijalarni mexanik haydovchiga axborot berish orqali PTMni manevrlash, qaytib burilish va yangi qatorlarga kirishida haydovchining mashinani boshqarishini osonlashtiradi. ANTning ishonchliligi va samaradorligini ta‘minlash uchun o‘xshash tizimlarda qo‘llanilgan metall sarfi yuqori, og‘ir va qimmat induktiv burchak o‘lchash o‘zgartirgichini (O‘O‘) –datchigini arzon va ishonchli potentsiometrik O‘O‘ bilan almashtirish, elektron blok indikator va LED hamda tizimning elektr qismini ishonchliligini oshirishga, ayniqsa tizimni agregatlangan traktorning standart elektr tizimi bilan bog‘lash kabi vazifalar belgilab olindi va ular TTZ–811 traktoriga agregatlangan MX–1,8 tajribaviy PTM da amalga oshirildi.

PTM rul trapetsiyasining kinematik parametrlarini asoslash. YG‘ larni  $\gamma$  burchak ostida yonlama og‘ish bilan o‘rnatish g‘ildiraklarni qiya tomonga og‘ishga majburlaydi. Mashina bilan bog‘langan g‘ildirak biroz yonlanma sirpanish bilan to‘g‘ri harakatlanadi, bu esa shinalarning tez eyilishiga va yoqilg‘i sarfining oshishiga olib keladi. Ushbu kamchiliklarni bartaraf etish uchun YG‘larning og‘ish burchaklari PTMni ishlatishda burish salfasi shkvorenining bo‘ylama va ko‘ndalang og‘ishini rostlashdan mustasno qiladi. Bu esa o‘z navbatida PTMning ish jarayonida faqat rul tortqilarining uzunligini o‘zgartirish orqali g‘ildiraklarning yaqinlashuvini rostlashga imkoniyat yaratadi. Shu bilan birga rul tortqisining uzunligini rostlashda rul trapetsiyasining parametrlarini to‘g‘ri tanlash katta ahamiyat kasb etadi. Chunki rul trapetsiyasining o‘lchamlari quyidagi tenglamani qanoatlantirishi shart:

$$\operatorname{ctg}\beta - \operatorname{ctg}\alpha = \frac{B}{L}. \quad (4)$$

bunda  $\alpha$ –ichki YG‘ burilish burchagi;  $\beta$  –tashqi YG‘ burilish burchagi;  $B$ –oldingi o‘q buriluvchi salfalarining shkvorenleri orasidagi masofa;  $L$ –mashina bazasi.

MX–1,8 va MX-2,4 PTMlarining rul yuritmasi, ya‘ni trapetsiyasi konstruksiyasida o‘zgarmas o‘lcham shkvorenlar o‘qlari orasidagi  $B$  masofa bo‘lib, bu o‘lcham MX–1,8 da 1800 mm, MX–2,4 da 1200 mm ni tashkil etadi, ya‘ni orqa ko‘priklari g‘ildiraklari orasidagi masofa(koleya)siga teng qilib olingan. Bu bilan mashinalarni, mos ravishda, g‘o‘za qator oralari 900 mm va 600 mm, bo‘lgan dalalarda ishlay olishi ta‘minlanadi.

(4) tenglamani bajarilishi YG‘ larni burilish vaqtida sirpanmasdan dumalashini ta‘minlaydi. Bunda g‘ildiraklar turli burchaklarga burilishi lozim. Ushbu shartlar bajarilganda, g‘ildirak shinalarining eyilish miqdori minimal qiymatda bo‘ladi.

Mashinaning bazasi  $L$  katta bo‘lsa, burilish radiusining qiymati ham katta bo‘ladi, harakat tezligi yuqori bo‘lib burilish jarayoni sekinlik bilan bajariladigan bo‘lsa ham burilish radiusi katta bo‘ladi.

YG‘lar burilish burchaklari orasidagi munosabatni to‘g‘riligini ta‘minlash uchun trapetsiya elementlarining o‘lchamlarini tanlash va bu o‘lchamlarni mashina bo‘ylama bazasi hamda burish salfalari o‘qlari orasidagi masofa ( $V=1800$  mm,  $B=1200$  mm) bilan moslashtirish lozim.



G'ildirakli mashinalarda YG'lar koleyasi o'zgarsa, mos ravishda ko'ndalang tortqi(lar)ning uzunligi ham o'zgartirilishi lozim. aks holda g'ildiraklarning yonlama sirpanishi ortib ketadi va shinalarning jadal eyilishi sodir bo'ladi. 8-rasmdagi rul trapetsiyasi sxemasi bo'yicha YG'larning burilish bo'rchaklari va rul trapetsiyasi parametrlari orasidagi bog'liqlik quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

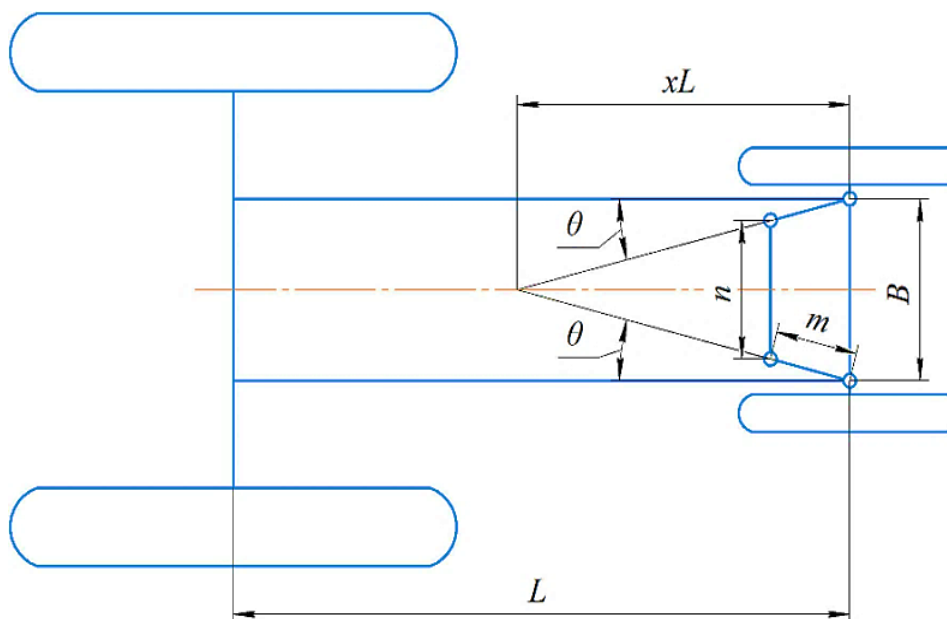
$$\beta = \theta + \arctg \frac{m \cos(\theta + \alpha)}{B - m \sin(\theta + \alpha)} - \arcsin \frac{m + 2B \sin \theta - 2m \sin^2 \theta - B \sin(\theta + \alpha)}{\sqrt{B^2 + m^2 - 2Bm \sin(\theta + \alpha)}}, \quad (5)$$

bunda  $m$ —richagning uzunligi;  $\theta$ —yon richagning qiyalik burchagi.

MX rusumli PTMlarining o'zi xos komponentlari tufayli rul trapetsiyasi boshqariluvchi ko'priklari o'qiga nisbatan orqada joylashgan (10-rasm).

Ma'lumki, MX-1,8 rusumli PTMlarining texnik tavsifnomasida mashina TTZ-LS 100 HC traktori bilan agregatlangan bo'lsa, uning bo'ylama bazasi  $L=3665$  mm, orqa YG'lar shkvoren o'qlari orasidagi masofa  $B=1800$  mm, tashqi YG' izlari bo'yicha minimal burilish radiusi  $R=6,5$  m qabul qilingan.

MX-2,4 rusumli PTM texnik tavsifnomasida mashina TTZ-LS 100 HC traktori bilan agregatlanganda, uning bo'ylama bazasi  $L=3800$  mm, orqa YG' shkvoren o'qlari orasidagi masofa  $B=1200$  mm, tashqi YG' izlari bo'yicha minimal burilish radiusi  $R=6,8$  m qabul qilingan. Ammo, bu o'lchamlar etarlicha asoslanmagan. Shu sababli ushbu o'lchamlarning to'g'ri tanlanganligini yuqoridagi talablar asosida tekshirishni taqazo qildi.



$m$ —yon burish richagining uzunligi,  $n$ —ko'ndalang tortqi uzunligi;  $\theta$ —yon richagning qiyalik burchagi;  $B$ —shkvorenlar orasidagi masofa.

**8-rasm. Boshqariluvchi o'qqa nisbatan orqada joylashgan rul trapetsiyasi sxemasi**

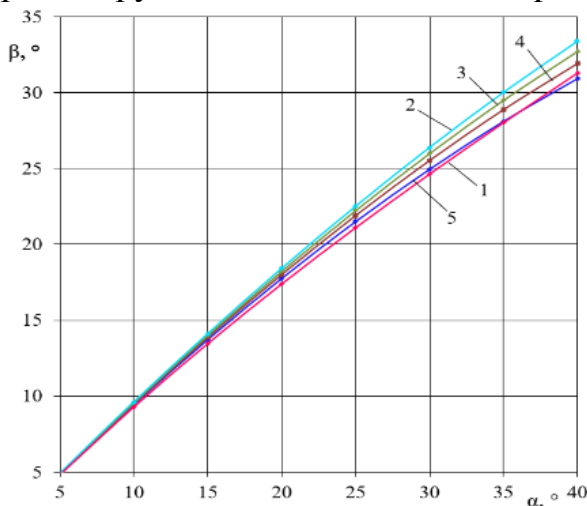
Rul trapetsiyasining parametrlarini tanlashda burilish markaziga nisbatan ichki g'ildirakning maksimal  $\alpha_{max}$  burchakka burilishida (4) tenglamada keltirilgan YG'larning nazariy va (5) tenglamadagi haqiqiy burilish burchaklari orasidagi minimal farq ta'minlanishi lozim.

Neytral holatda yon richagning qiyalik burchagi  $\theta$ , burish sapfalari shkvorenleri orasidagi  $B$  masofa va yon richaglar uzunligi  $m$ –rul trapetsiyasi kinematikasini aniqlovchi asosiy parametrlar hisoblanadi.

Rul trapetsiyasi yon richagining og‘ish burchagi ushbu ifodadan aniqlanadi

$$\theta = \arccotg \frac{xL}{0,5B}, \quad (6)$$

bunda  $\theta$  burchakning optimal qiymatlari  $x = 0,7 \dots 1,0$  oraliqda yotadi.



**9-rasm. MX-1,8 PTM uchun  $x$  ning turli qiymatlarida  $\alpha$ -ichki va  $\beta$ -tashqi YG‘lar burilish burchaklarining nazariy bog‘liqlik grafiklari**

Olingan ma’lumotlar asosida rul trapetsiyasining asosiy o‘lchamlari  $x=0,7$  bo‘lganda nazariy qiymatlarga juda yaqin kelmoqda. Shunga ko‘ra PTMlarning texnik shartlarida berilgan o‘lchamlar asosida rul trapetsiyasining mavjud va tavsiya etilayotgan o‘lchamlari 2 va 3-jadvallarda keltirildi.

**2-jadval**

**MX-1,8 PTM rul trapetsiyasining mavjud va tavsiya etilayotgan o‘lchamlari**

Rul trapetsiyasi parametrlari	$x$	$\theta, ^\circ$	$n, \text{mm}$	$m, \text{mm}$
Mavjud	1,06	13	1740	130
Tavsiya etilayotgan	0,7	21,5	1647	230

**3-jadval**

**MX-2,4 PTM rul trapetsiyasining mavjud va tavsiya etilayotgan o‘lchamlari**

Rul trapetsiyasi parametrlari	$x$	$\theta, ^\circ$	$n, \text{mm}$	$m, \text{mm}$
Mavjud	0,04	19,34	1104	135
Tavsiya etilayotgan	0,7	14,12	1130	158

Xulosa qilinganda, Ts 25272604-017:2015 Tarmoq standartida keltirilgan, texnik va agrotexnik talablarni hisobga olgan holda ishlab chiqilgan TTZ–LS 100 HC traktori bilan agregatlanuvchi MX–1,8 PTMning bo‘ylama bazasi  $L=3665$  mm, YG‘lar koleyasi  $B=1800$  mm, tashqi YG‘ izi bo‘yicha minimal burilish radiusi  $R=6,5$  m bo‘lganda, MX–2,4 PTM uchun esa TTZ–LS 100 HC traktori bilan agregatlanganda mashinaning bo‘ylama bazasi  $L=3800$  mm, YG‘lar koleyasi  $B=1200$  mm, tashqi YG‘ izi bo‘yicha minimal burilish radiusi  $R=6,8$  m bo‘lganda, yuqorida tavsiya etilgan rul trapetsiyasi parametrlari YG‘larni yonlama sirpanishsiz burilishini ta’minlaydi va

pirovardida g'ildiraklarning yeyilishini kamaytiriladi. Shuningdek, YG'larning og'ish burchaklari va yaqinlashuvi to'g'ri o'rnatilganda, PTMlarni manyovrchanligi, qatorlarda yurish aniqligi va barqarorligi ta'minlanadi.

“Yo‘nalish ko‘rsatkichi” va YG‘ holatini ANT bilan jihozlangan tajribaviy MX-2,4 PTMning laboratoriya-dala sinovlari dasturi va metodikasi. YG‘ ANT ning elektron qismiga qo‘shimcha ravishda tizimning mexanik qismi ham modernizatsiya qilindi– YG‘ o‘qining burilish burchagini potensiometrlik O‘O‘ ga uzatuvchi datchik yuritmasi g‘ildirak o‘qining konstruktiv xususiyatlariga asoslanib ilgari ishlab chiqilgan 2 qatorli MX–1,8 PTM uchun konstruksiyasi MX–2,4 mashinasi uchun modernizatsiya qilindi. Orqa ko‘prik balkasi konstruksiyasidan kelib chiqib YG‘ning vilkasi o‘qiga potensiometrlik datchikni joylashtirish imkoni bo‘lmadi. Shu sababli yuritma plastik tishli uzatmalar yordamida uzatiladi, yuritmaning sxemasi va uning o‘rnatilishi 10-rasmlarda ko‘rsatilgan.

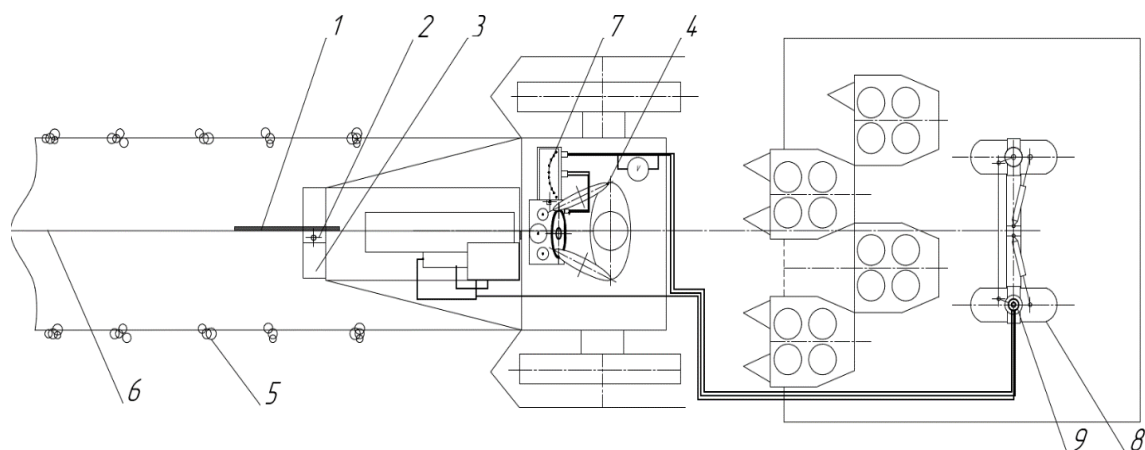
PTMning boshqariluvchanligi va harakatlanish aniqligini oshirish maqsadida agregatlangan traktorning old qismiga o‘rnatiladigan manyovrlarni bajarishda haydovchining orientatsiyasini yaxshilash uchun mo‘ljallangan “yo‘naltirgich-ko‘rsatkich” qurilmasi ishlab chiqildi (11– va 13a–rasmlar).



1–potensiometrlik datchik; 2–datchik o‘qiga o‘rnatilgan plastik tishli g‘ildirak; 3–YG‘ vilkasi o‘qi; 4–vilka o‘qiga o‘rnatilgan tishli g‘ildirak.

#### **10-rasm. Yuritmasi modernizatsiya qilingan potensiometrlik datchikni PTM YG‘ning vilka o‘qiga o‘rnatish**

G‘o‘za qatorlariga kirish va agregatni qatorlarda yuritish jarayonida mexanik-haydovchi 4 (11-rasm) yo‘naltirgich-ko‘rsatkich plastinasi 1 yordamida g‘o‘za qator oralig‘i o‘rta o‘qi 6 ni “nishon-orientir” qilib oladi va agregatni “xaydovchi - ko‘rsatkich plastinasi - qator oralig‘i o‘qi” faraziy chiziq bo‘yicha yuritadi. Ushbu qurilma YG‘ ANT bilan birgalikda qo‘llanilganda agregatni qatorlar bo‘ylab yuritish aniqligini sezilarli darajada oshirish imkoni berishi dala sinovlvrda o‘z tasdig‘ini topdi.



- 1– plastina ko‘rsatkich; 2–yo‘naltirgich-ko‘rsatkich karkasi; 3 – traktor kapoti;  
4–mexanik mexanizator; 5–g‘o‘za qatori; 6–qator oralig‘i markaziy o‘qi;  
7–axborot displeyini; 8 –yo‘naltiruvchi g‘ildirak; 9–potensiometrik datchik.

**11-rasm. Yo‘naltirgich-ko‘rsatkich yordamida g‘o‘za qatorlar bo‘ylab boshqarilayotganda PTMning yo‘naltirish sxemasi**

Dissertatsiyaning “**Ishlab chiqilgan qurilmalar bilan jihozlangan MX-2,4 PTM ni eksperimental tadqiq qilish va samaradorligini baholash**” deb nomlangan IV- bobida MX-2,4 PTMni burilib qaytish sxemasi va parametrlarini tadqiqoti, takomillashtirilgan MX-2,4 PTMni g‘o‘za qatorlari bo‘ylab harakatlanish aniqligini tadqiqoti, MX rusumidagi PTM YG‘ avtotebranishlarini eksperimental tadqiqotlari hamda YG‘ holatini ANT bilan jihozlangan MX-2,4 rusumli PTMning texnik iqtisodiy samaradorligini baholash natijalari keltirilgan.

MX-2,4 burilib qaytish sxemasi va parametrlarini tadqiq qilish. Burilib qaytish sxemalari va texnologiyalari bo‘yicha tadqiqotlar natijalari asosida burilib qaytishning asosiy sxemasi sifatida yopiq va ochiq sirtmoqli (orqaga yurish bilan) sxemasi qabul qilindi.

Hosilni bir martalik terishning yangi, “bo‘lakli, 1,5 marta” ishlov berish texnologiyasini amalga oshirishda MX-2,4 PTM qaytib burilib olganidan so‘ng ikki apparati birinchi terimni bajarsa, qolgan ikki apparati esa mashinaning oldingi o‘tishda qolgan paxtani, ya‘ni ikkinchi terimni bajaradi. Ushbu texnologiyani ta‘minlash uchun PTMni 14-rasmda ko‘rsatilgan yopiq sirtmoqli(orqaga yurish bilan) burilib qaytish sxemasi eng ratsional va resurstejamkor ekanligi tasdiqlandi.

Taklif qilinayotgan sxema bo‘yicha burilib qaytish parametrlarini aniqlash.

**1. Burilib qaytish yo‘li**

$$L_n = S_1 + S_2 + S_3 \quad (7)$$

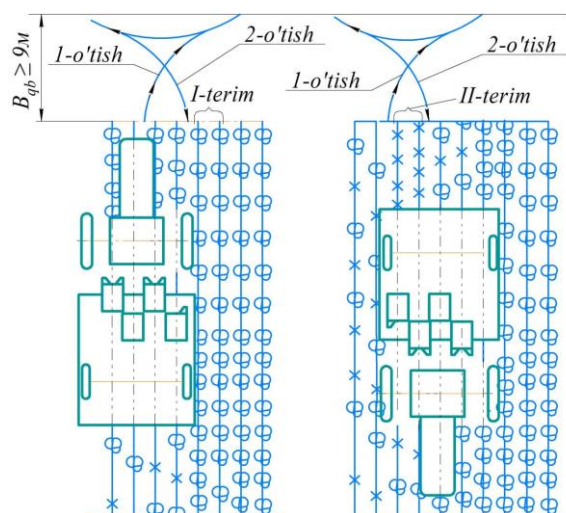
bunda,  $L_n$  – yo‘lning umumiy uzunligi, m;  $S_1$  –egatlardan chiqish yo‘li uzunligi, m;

$S_2$  – orqaga yurish yo‘li uzunligi, m;  $S_3$ –agregatning yangi qatorlarga kirish yo‘lining uzunligi,m;  $E$ –burilib qaytish yo‘lining kengligi, m.

**2. Burilib qaytish uchun ketadigan umumiy vaqt**

$$T_{qayr} = t_{chiq} + t_{qay} + t_{kir} \quad (8)$$

bunda,  $t_{chiq}$ ,  $t_{qay}$  va  $t_{kir}$ , –burilib qaytish tarkibiy qismlari, mos ravishda, chiqish, orqaga yurish, yangi qatorlarga kirish uchun sarflangan vaqt.



**12- rasm. MX-2,4 PTMning yopiq sirtmoqli (orqaga yurish bilan) burilib qaytish sxemasi**

Ushbu parametrlarni o'lashlar PTMning dala sinovlari (13-rasm) da ikki ish rejimida - YG' ANT jixozlangan va YG' ANT ni jixozlanmagan holatlarda amalga oshirildi. O'lashlar natijalari va ularning statistik xarakteristikalari 4-jadvalda keltirilgan.



*a- manyovr qilish jarayoni*



*b- burilish izlarining ko'rinishi*

**13-rasm. YG' ANT va yo'naltirgich- ko'rsatgich bilan jihozlangan MX-2,4 PTMning manyovr qilish jarayoni**

**4-jadval.**

**MX-2,4 PTMni yopiq sirtmoqli (orqaga yurish bilan) sxemasi bo'yicha burilib qaytish yo'li va vaqtini dala o'lchovlari natijalari.**

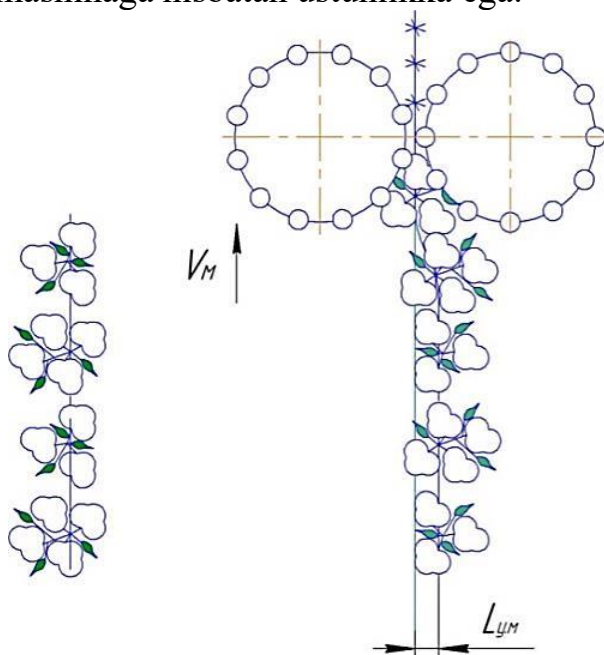
YG' ANT bilan jihozlangan							
Parametr	Takrorlashlar					O'rta. arif. qiymat, $S_{o'r}$	O'.k.o., $\sigma$
	1	2	3	4	5		
$S_1, m$	7,0	7,5	7,3	7,8	7,1	<b>7,3</b>	<b>0,28</b>
$S_2, m$	9,0	8,7	8,8	9,1	8,6	<b>8,8</b>	<b>0,18</b>
$S_3, m$	10,8	11,5	11,0	11,2	10,0	<b>10,9</b>	<b>0,51</b>
$L_n, mm$	26,8	27,7	27,1	28,1	25,7	<b>27,08</b>	<b>0,82</b>
$t_{chiq}, s$	12	14	13	15	11	<b>13</b>	<b>1,41</b>
$t_{qay}, s$	21	24	20	22	19	<b>21,2</b>	<b>1,72</b>
$t_{kir}, s$	21	20	21	20	20	<b>20,4</b>	<b>0,49</b>
$T_{qayr}, s$	<b>54</b>	<b>58</b>	<b>54</b>	<b>57</b>	<b>50</b>	<b>54,6</b>	<b>2,8</b>
$E, m$	<b>6,1</b>	<b>6,5</b>	<b>6,2</b>	<b>6,6</b>	<b>5,8</b>	<b>6,22</b>	<b>0,29</b>



#### 4-jadval davomi

YG' ANT bilan jihozlanmagan							
$S_1, m$	9,0	8,5	9,1	8,8	8,7	8,8	0,21
$S_2, m$	7,6	8,0	7,7	8,1	7,95	7,8	0,18
$S_3, m$	13,0	14,0	13,5	14,2	1,3	11,2	0,49
$L_{um}, m$	29,6	30,5	30,3	31,1	29,65	30,23	0,56
$t_{chiq}, s$	17	16	19	18	15	17	1,41
$t_{qay}, s$	24	26	28	27	26	26,2	1,32
$t_{kir}, s$	22	23	24	25	23	23,4	1,02
$T_{qayr}, s$	63	65	71	70	64	66,6	3,26
$E, m$	8,9	9,0	9,1	8,8	9,2	9,0	0,14

Tadqiq qilingan ko'rsatkichlar bo'yicha YG' holatini ANT va yo'naltirgich-ko'rsatkich bilan jihozlangan MX-2,4 PTM har jihatdan ushbu qurilmalarsiz mashinaga nisbatan ustunlikka ega.



a- g'o'za qatori o'qidan og'ish sxemasi

b- og'ishini o'lchash jarayoni

**14 - rasm. G'o'za qatori o'qidan tomizgichdan tomgan moy izlarining og'ishini o'lchash sxemasi a va o'lchash jarayoni b**

Takomillashtirilgan MX-2,4 PTM ni g'o'za qatorlari bo'ylab harakatlanish aniqligini tadqiqoti. YG' ANT va "yo'naltirgich-ko'rsatkich" moslamasi bilan jihozlangan MX-2,4 PTM g'o'za qatorlarida harakatlanish aniqligini o'rganish, g'o'za qator oraliqlariga 60 sm qilib ekilgan paxta maydonlarda amalga oshirildi.

TA ishchi tirqishi o'qi izining g'o'za qatori o'qidan og'ish(L)larini aniqlash qator uzunligi bo'ylab har 0,5 m masofada o'lchagich yordamida o'lchash bilan amalga oshirildi (14-rasm), natijalar 5 - jadvalda keltirilgan.

Dala sinovlari natijalari shuni ko'rsatdiki, yarim osma MX-2,4 PTMni konstruktsiyasi sodda va narxi jihatidan arzon YG' ANT, shuningdek, traktor ramasiga o'rnatiladigan yo'naltirgich-ko'rsatkich bilan jihozlash g'o'za qatorlarida mashinaning harakatlanish aniqlikligini oshirish imkonini berdi.

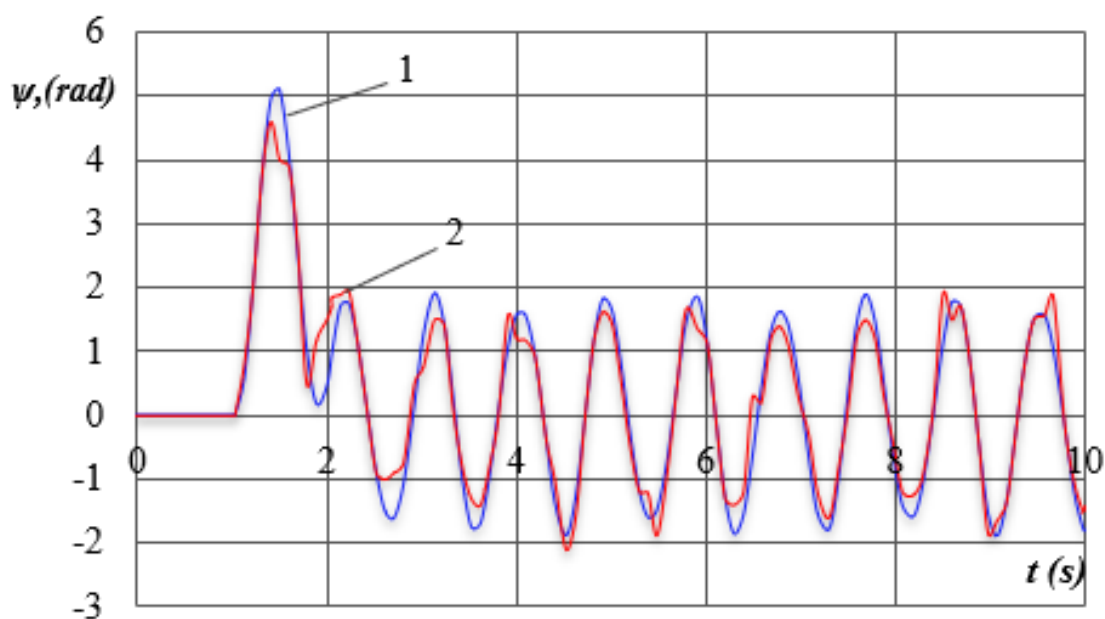
**Terish apparati ishchi tirqishi o'qining paxta qatori o'qidan og'ishlari (L)  
tajriba natijalari statistik harakteristikalari**

<b>N<sub>2</sub></b>	<b>Tajriba sharoitlari MX-2,4 PTM</b>	<b>O'rtacha arifmetik qiymati, <math>\bar{L}</math>, mm</b>	<b>O'rtacha kvadratik og'ish, <math>\sigma</math>, mm</b>	<b>Variatsiya koeffitsienti V, %</b>
1	YG' ANT bilan jixozlangan	12,0	7,81	65,08
2	YG' ANT bilan jixozlanmagan	25,8	16,3	63,12

YG' ANT va yo'naltirgich-ko'rsatgich moslamasi bilan ishlaganda TA ishchi tirqishi simmetriya o'qining g'o'za qatori o'qidan og'ishi o'rtacha arifmetik kattaligi 50 foiz dan ziyodga kamaydi, ya'ni, agregatning g'o'za qator oralarida harakatlanish aniqligi qariyb 2 martaga oshadi.

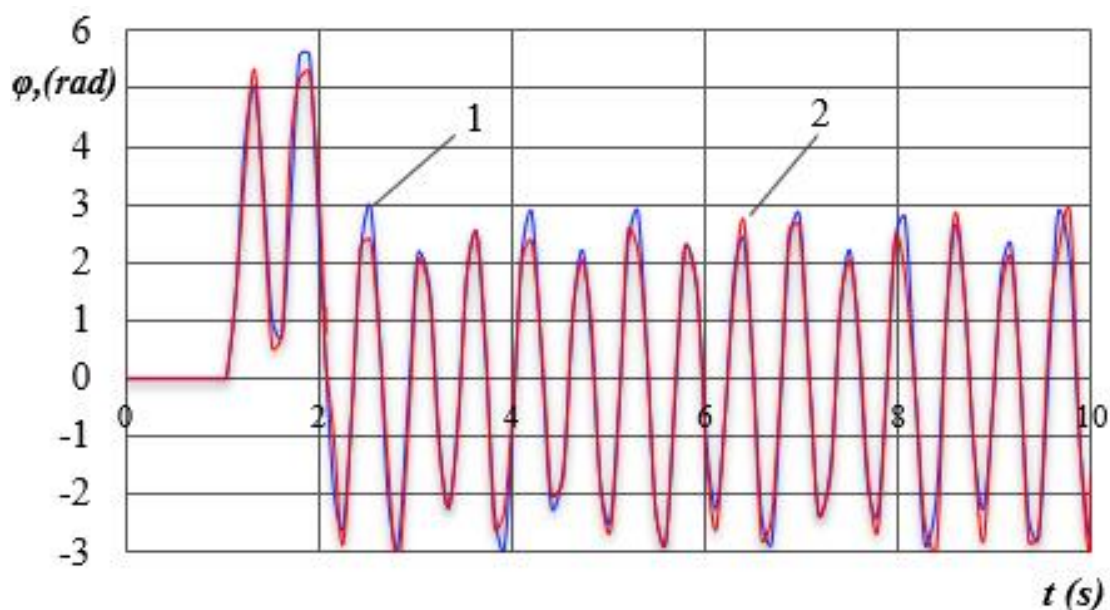
MX rusumidagi PTM YG' burchak tebranishlarini eksperimental tadqiqotlari. MX rusumidagi PTM YG'ning Matlab-Simulink dasturida olingan burchak tebranishlarini modellashtirish natijalarini tekshirish uchun eksperimental tadqiqotlar o'tkazildi.

Tajribalar PTM YG'lari o'qiga MCU6050 rusumli 2 ta aksellerometr o'rnatish va mashinaning harakatlanishi davomida YG'larning  $x, y, z$  koordinata o'qlari bo'yicha burchak tebranishlari ko'rsatkichlari aniqlashga asoslangan. Tadqiqotlarda olingan natijalar (15-a,b rasmlar) MX-1,8 PTM ning YG'ning harakatini matematik modellashtirish asosida olingan nazariy natijalar (7-rasm) bilan adekvat bo'lib, xatolik 10-13 foizni tashkil etmoqda. Bu esa ishlab chiqilgan matematik modelning ishonchliligini tasdiqlaydi.



1-nazariy; 2-eksprimental

**15-rasm. G'ildirak o'qining egilish burchagi tebranishlari**



1-nazariy; 2-eksperimental

**16-rasm. G'ildirakning burilish burchagi tebranishlari**

Sinovlarda yo'naltiruvchi g'ildiragi avtomatik nazorat tizimi (ANT) va "yo'naltirgich-ko'rsatgich" bilan jihozlangan tajribaviy MX-2,4 PTM belgilangan texnologik jarayonlarni ishonchli bajardi va uning ish ko'rsatkichlari unga qo'yilgan talablarga mos bo'ldi.

Texnik iqtisodiy ko'rsatkichlarni aniqlash bo'yicha o'tkazilgan hisoblar PTMni burilib qaytish vaqti va masofasini o'rtacha 15-20 foizga qisqartirish hisobiga agregatning smenadagi ish unumi taxminan 6,5 foizga oshishini, hamda yoqilg'i va boshqa ekspluatatsion xarajatlarga mos ravishda kamayishini ko'rsatdi. Yillik iqtisodiy samara yo'naltiruvchi g'ildiragi ANT va "yo'naltirgich-ko'rsatgich" bilan jihozlangan tajribaviy MX-2,4 PTM uchun 24 520 348,25 so'mni yoki 1 ga daladagi hosilni yig'ishtirib olinganda 159 950 so'mni tashkil etadi.

## XULOSALAR

1. Muammoning hozirgi holati va tadqiqot ob'ektlari - yarim osma MX-1,8 va MX-2,4 PTMlar ish ko'rsatkichlarining tahlili shuni ko'rsatdiki, TA va YG'larning haydovchi kabinasi orqasida joylashishi agregatni boshqarish va texnologik ish jarayonini nazorat qilishda qiyinchiliklar tug'diradi. Xozirgacha ma'lum MTAlarining sxemalarini tahlili MX seriyali PTM ko'rinishidagi agregat sxemasi ularning hech biriga mos kelmasligini, ya'ni uning o'ziga xosligi va shu sababli ham uning kinematik parametrlari va burilib qaytish kinematikasi yetarlicha o'rganilmaganligini ko'rsatdi.

2. MX-2,4 PTMning kinematik parametrlari va manyovrchanlik ko'rsatkichlarini belgilovchi kinematik tavsiflarini aniqlash va uning burilib qaytish kinematikasini Quick Basic dasturi yordamida modellash natijasida yarim osma MX-2,4, XMP-1.8 va o'ziyurar John Deere 9970 (AQSh) PTMlari uchun doiraviy burilish sxemasi bo'yicha qaytib burilish yo'lagi parametrlari (uzunligi  $X_p$  va kengligi  $Y_p$ ) olindi. Ularning tahlili shuni ko'rsatadiki, orqa YG'larning holati PTM burilish traektoriyasiga sezilarli darajada ta'sir qiladi. Istiqbolli, VSh PTM bilan jami hosilni bir martada terib olish yangi "bo'lakli texnologiyasi"ni joriy qilishda MX-2,4 PTM



burilib qaytishi resurstejamkor yopiq sirtmoqli(ortga yurish bilan) sxemasi tavsiya etildi.

3. MX-2,4 PTM rul boshqarmasining asosiy parametrlarini grafoanalitik usulda KOMPAS 3D dasturida optimallashtirish rul trapetsiyasining ko'ndalang tortqisiining optimal uzunligi  $n=1110$  mm, tengligi aniqlandi. Ko'ndalang tortqining optimal uzunlikda rostlanganda burilish vaqtidagi yonlama kuchlar ta'sirida sirpanishlar kamayishi hisobiga PTM boshqariluvchanligi sezilarli darajada yaxshilanadi.

4. MX-1,8 PTM YG'ning g'o'za qator oralarida harakatlanishini matematik simulyatsiya MATLAB-Simulink dasturi yordamida kompyuterda modellashirish va simulyatsiya qilish tizimning kirish va chiqish parametrlarini olish hamda ularini o'zgartirib tizimni virtual sinash imkonini berdi. Simulyatsiya jarayoni (davomiyligi 10 s)da olingan natijalarga ko'ra YOZ tekisligi bo'yicha YG' o'qining egilish burchagi 1,5 s da o'zining maksimal amplitudasiga etadi ( $5^\circ$ ) va 3-s dan keyin bir xil amplitudada ( $1^\circ \div 2^\circ$ ) tebranib harakatlanadi. XOY tekisligi bo'yicha YG' burilish burchagi 2 s da o'zining maksimal amplitudasiga etadi ( $5,5^\circ$ ) va 2-s dan boshlab bir xil amplituda bilan ( $2^\circ \div 3^\circ$ ) tebranishda davom etadi. Ushbu natijalar jarayonni, yani PTM YG' burchak tebranishlarini g'ildiraklar o'qiga aksellerometrlar o'rnatilgan kompyuterlashgan o'lchash informasion tizimda olingan eksperimental natijalarga adekvat bo'lib, xatolik 10-13 foizni tashkil etdi.

5. Yarim osma MX-2,4 PTM YG' holatini ANT va "yo'naltirgich-ko'rsatgich" qurilmasi sxema va parametrlari asoslanib ularning maket na'munalari yaratildi. PTM ushbu tizim va qurilma bilan jixozlash agregatni manyovr qilishda haydovchining orientasiyasini yaxshilash va g'o'za qatorlarida harakatlanish aniqligini oshirish imkonini beradi. ANT ning strukturaviy va prinsipial sxemalari, ma'lumot displeyi prototipini ishlab chiqish, uni laboratoriya-stendida sinovlari tizimning YG'ni  $\pm 90^\circ$  atrofida burilish burchagini o'lchashdagi mutlaq xatosi  $\pm 0,13^\circ$  dan oshmasligi ma'lum bo'ldi.

6. MX rusumidagi PTMlari rul trapetsiyasi parametrlari asoslash bo'yicha tadqiqotlar natijasida TTZ-LS100 HC traktori bilan agregatlangan MX-1,8 va MX-2,4 PTMlari uchun tavsiya etilgan rul trapetsiyalari parametrlari Ts 25272604-017:2015 - tarmoq standarti talablari asosida ishlab chiqilgan, tegishli bo'ylama bazasi va YG'lar koleyasi kattaliklariga ega bo'lgan, tashqi YG' izi bo'yicha minimal burilish radiuslari mos ravishda  $R_{\min}=6,5\text{m}$  va  $6,8\text{m}$  bo'lishini va YG'larni yonlama sirpanishsiz burilishini, pirovardida g'ildiraklarning yeyilishini kamayishini ta'minlaydi. Rul trapetsiyalarining mavjud ikki rusumdagi PTMlar konstruksiyalardagi parametrlari tavsiya etilayotganlaridan etarlicha farqlanadi va ularni MX seriyadagi PTMlarni takomillashtirishda xisob olish lozim. Shuningdek, YG'larning og'ish burchaklari va yaqinlashuvi to'g'ri o'rnatilganda, PTMlarni manyovrchanligi, qatorlarda yurish aniqligi va barqarorligi ta'minlanadi. Mavjud konstruksiyalarda vilkali boshqaruvluvchi ko'prik qo'llanilganligi sababli YG'larning og'ish burchagi va yaqinlashuv kattaliklari kabi harakat yo'nalishi aniqligi va barqarorligini ta'minlovchi muhim parametrlar ta'minlanmagan.

7. Ishlab chiqilgan tizim va qurilmalar bilan jixozlangan tajribaviy MX-2,4 PTM ning QXTTSM poligonida o'tkazilgan dala tadqiqotlari natijalariga ko'ra, YG' ANT

dan foydalanganda agregat burilib qaytish yo'lining o'rtacha qiymati  $L_{um}=27,08\text{m}$  ( $\sigma = 8,26\text{m}$ )ga, vaqti esa  $T_{qayr}=54,6\text{ s}$  ( $\sigma = 2,8\text{ s}$ ) YG' ANT dan foydalanilmagan agregat uchun bu parametrlar mos ravishda  $30,2\text{ m}$  ( $5,6\text{ m}$ ) ga va  $66,6\text{ s}$  ( $3,26\text{ s}$ ) ga teng ekanligi aniqlandi. YG' ANT bilan PTMning burilib qaytish yo'lagi kengligining o'rtacha qiymati  $V_{qayr}=6,22\text{ m}$  ( $\sigma = 0,29\text{ m}$ )ni, YG' ANT yo'q mashina uchun bu ko'rsatkichlar, mos ravishda  $9,0\text{m}$  ( $\sigma=0,14\text{ m}$ )ni tashkil etdi. Ya'ni, Ishlab chiqilgan tizim va qurilmalar bilan jihozlangan MX-2,4 PTM ushbu ko'rsatkichlar bo'yicha seriyali mashinadan 10-20 foiz ustunlikka ega, yakunda agregatning smenadagi ish unumi ham shu qiymatlarga oshadi.

8. Dala sinovlari natijalari shuni ko'rsatdiki, yarim osma MX-2,4 PTMni YG' ANT va yo'naltirgich-ko'rsatgich bilan jihozlash agregatning g'o'za qatorlarida harakatlanish aniqligini oshiradi - terish apparati simmetriya o'qining g'o'za qatori o'qidan og'ishi o'rtacha arifmetik kattaligi qariyb 2 barobarga kamaydi, pirovardida mashinaning ish sifati yaxshilanadi, terim to'liqligi 2,5-5 foizgacha oshirish imkoniyati yaratiladi.

9. Yuqoridagi 7-va 8-xulosalarda qayt etilgan ko'rsatkichlar asosida hisoblangan YG' ANT va yo'naltirgich-ko'rsatgich bilan jihozlangan tajribaviy MX-2,4 PTM ning yillik iqtisodiy samaradorligi 24 520 348, 25 so'mni tashkil qiladi.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.03.30.2019. Т.10.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ  
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ НАЦИОНАЛЬНОМ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ «ТАШКЕНТСКИЙ  
ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ИРРИГАЦИИ И МЕХАНИЗАЦИИ  
СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА»**

---

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**

**ШЕРКОБИЛОВ СОБИРЖОН МЕНГКОБИЛОВИЧ**

**ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ НАПРАВЛЕНИЯ ПО РЯДКАМ И  
МАНЕВРЕННОСТИ ПОЛУНАВЕСНЫХ ХЛОПКОУБОРОЧНЫХ  
МАШИН**

**05.07.01 – Сельскохозяйственные и мелиоративные машины. Механизация  
сельскохозяйственных и мелиоративных работ**

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD)  
ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ**

**Ташкент – 2025**

**Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за B2019.1. PhD/T420.**

Диссертация выполнена в Ташкентском государственном техническом университете.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице по адресу: [www.tiame.uz](http://www.tiame.uz) и Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» ([www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz)).

**Научный руководитель:**

**Абдазимов Анвар Даниярович**  
доктор технических наук, профессор

**Официальные оппоненты:**

**Ризаев Анвар Абдуллаевич**  
доктор технических наук, профессор

**Дускулов Абдусаттор Ахадович**  
кандидат технических наук, доцент

**Ведущая организация:**

**Центр сертификации и испытаний  
сельскохозяйственной техники и технологий  
при Министерстве сельского хозяйства  
Республики Узбекистан**

Защита диссертации состоится «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 г. в \_\_\_\_\_ часов на заседании Научного совета DSc.03.30.2019. T.10.01 при Ташкентском институте инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства (Адрес: 100000, г. Ташкент, ул. Кары Ниязи, 39. Тел.: (+99871) 237-09-45, факс: (+99871) 237-09-75, e-mail: [admin@tiame.uz](mailto:admin@tiame.uz)).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Национальном исследовательском университете «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства» (регистрационный номер \_\_\_\_\_). Адрес: 100000, г. Ташкент, ул. Кары Ниязи, 39. Тел.: (+99871) 237-09-45, факс: (+99871) 237-09-75, e-mail: [admin@tiame.uz](mailto:admin@tiame.uz).

Автореферат диссертации разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 года.

(Протокол рассылки №\_\_\_ от «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 года).

**Б.С. Мирзаев**

Председатель научного совета по  
присуждению учёных степеней,  
д.т.н. профессор

**У.Т.Кузиев**

Ученый секретарь научного совета  
по присуждению учёных степеней,  
PhD, доцент

**К.Д.Астанакулов**

Председатель научного семинара  
при научном совете по  
присуждению ученых степеней,  
д.т.н., профессор

## **ВВЕДЕНИЕ (Аннотация к диссертации доктора философии (PhD))**

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** Основная часть выращиваемого в мире хлопка-сырца убирается самоходными горизонтально-шпиндельными (ГШ) хлопкоуборочными машинами (ХУМ), которые отличаются высокой стоимостью, значительным энергопотреблением и высокими эксплуатационными расходами. В связи с этим в последние годы особое значение приобретает задача сбора урожая с использованием энерго- и ресурсосберегающих машин. Учитывая то, что в мире хлопчатник возделывается примерно на 30 млн. гектарах и производится около 27 млн. тонн хлопкового волокна, создание энерго-ресурсосберегающей ХУМ с высокими агротехническими показателями (АТП) и производительностью является одной из важнейших задач стоящих перед учеными и конструкторами.

Ранее проведенные исследования показали, что одним из основных факторов, обеспечивающих сбор урожая без потерь с кустов хлопчатника, является точность движения машины вдоль рядков хлопчатника.

Исследования и опытно-конструкторские работы, направленные на снижение потерь урожая в процессе работы ХУМ ведутся во многих исследовательских центрах мира. При этом актуальной задачей является проведение теоретических и экспериментальных исследований по изучению кинематики движения энерго-ресурсосберегающих полунавесных ХУМ, параметров рулевой трапеции и установки направляющих колёс, влияющих на точность направления машины вдоль рядков хлопчатника и тем самым на ее АТП.

В сельскохозяйственном производстве Узбекистана осуществляются широкомасштабные меры по ресурсосбережению, снижению трудо- и энергозатрат, а также по производству высокопроизводительных сельскохозяйственных машин. В Постановлении Кабинета Министров РУз от 24 апреля 2021 года утверждена «Программа приоритетных направлений развития сельского хозяйства на 2022–2026 годы по исследованию научных решений глобальных, региональных и территориальных проблем», в которой, в частности, предусмотрено проведение исследований технологического процесса работы экспортно-ориентированных ХУМ, способных собирать урожай на уровне агротехтребований, по обоснованию ее основных параметров и режимов работы. Для реализации этих задач необходимо проведение исследований кинематики движения полунавесных ХУМ, параметров рулевой трапеции и установки направляющих колёс, оказывающих непосредственное влияние на точность и стабильность движения агрегата по рядкам хлопчатника. Необходимы также разработки технических решений, направленных на повышение точности движения по рядкам и маневренности агрегата, способствующих увеличению не только полноты сбора хлопка-сырца, но и его сменной производительности.

Эффективным способом повышения производительности полунавесных ХУМ с вертикально-шпиндельными (ВШ) уборочными аппаратами (УА), является 2-х кратный сбор урожая в короткие сроки при высокой степени ( $\geq 85\%$ ) раскрытия хлопковых коробочек, обеспечивающее также соответствие качества

конечной продукции (волокно, пряжа и ткань) нормативным требованиям. При этом предусматривается двухкратное последовательное прохождение машины по рядкам хлопчатника без временных интервалов, второй проход осуществляется в направлении, противоположном первому на II рабочей скорости. По данным ЦИСХТТ, ВШ ХУМ за два последовательных прохода («туда-обратно») обеспечивают сбор 90–97% урожая, при этом засоренность хлопк-сырца составляет 8,6–9,02% и 8,9–14,7% при 1 и 2 проходах, соответственно. Однако, на 2 проходе, эксплуатационные расходы возрастают из-за работы на II скорости, а собранные при этом 7–8% урожая не покрывают этих затрат. Учитывая эти факторы, перспективным является усовершенствованный вариант технологии, при котором в 1 проходе ХУМ обрабатывает 2 или 4 ряда (в зависимости от рядности машины), затем, после разворота первый УА (или первая пара аппаратов - для 4-рядной машины) осуществляет 1 сбор на новых рядках, а второй УА (или вторая пара) - 2 сбор на ранее пройденных рядках. Таким образом, внедрение новой, так называемой «дробной технологии» или «1,5-кратной» обработки, позволяет полнее использовать потенциал машины и полностью окупать эксплуатационные затраты за счёт увеличения сбора урожая на 2 проходе. При этом увеличивается сменная производительность машины до 50% по сравнению с применяемой двухкратной технологией сбора.

Полунавесные ХУМ МХ-1,8 и МХ-2,4, обладают такими преимуществами, как простота агрегатирования и возможность использования трактора для других целей после завершения сезона сбора хлопка. Однако в данных машинах УА расположены за кабиной оператора, что ограничивает возможности контроля за технологическим процессом и регулировками. В результате этого АТП ХУМ серии МХ оказались ниже по сравнению с показателями ранее произведенных навесных ХУМ серий ХВ и ХН. Анализ результатов госиспытаний показал, что полнота сбора урожая на 1 сборе полунавесной ХУМ МХ-1,8 в среднем составила 85%, тогда как в навесных машинах ХНП-1,8 и 14ХВ-2,4А этот показатель составил 88–90%.

Данная диссертационная работа посвящена повышению эффективности отечественных полунавесных ХУМ серии МХ с ВШ аппаратами за счёт повышения точности направления их по рядам и манёвренности, а также применения усовершенствованной технологии «1,5-кратного» сбора урожая в два последовательных прохода по рядкам с использованием этих машин.

**Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики.** Данное исследование выполнено в рамках приоритетного направления II. «Энергетика, энерго- и ресурсосбережение» развития науки и технологий Республики.

**Степень изученности проблемы.** Исследования по обоснованию параметров хлопкоуборочных машин и улучшению их рабочих показателей за рубежом проводились такими учёными, как В.С. Антоти, Д.Г. Батчелдер, Р. Борман, Р.С. Экри, У. Фолкнер, С.Е. Хьюз, У.Д. Мэйфайлд, К. Парнелл, Р. Рорбах, В.Е. Тейлор, Б. Шоу и другие.

В Узбекистане научные исследования по управлению движением

машинотракторных агрегатов, используемых при возделывании хлопчатника, а также по повышению устойчивости их движения вдоль рядов рассматривались в работах таких учёных, как Й.Л. Кольчинский, И. Марупов, Д.И. Хошимов, Г.Г. Расулов, Р.Д. Матчанов, М.Т. Тошболтаев, О.В. Лебедев, А.А. Ахметов, Г.Е. Топилин, Н.Б. Барер, Й.В. Гроховский, И.Н. Азаров, Б.А. Камбаров и других.

Идеи, предложения и рекомендации, сформированные в ходе данных исследований, успешно применяются и привели к определённым положительным результатам в направлениях совершенствования конструкций ХУМ и технологических процессов их работы. Однако большинство исследований, касающихся управления движением и устойчивости ХУМ, были посвящены навесным машинам, агрегируемым с тракторами. При этом вопросы точности движения по рядам и манёвренности, которые существенно влияют на производительность и полноту сбора урожая полунавесных ХУМ, серийно производимых и применяемых в последние годы, изучены недостаточно.

**Связь темы диссертации с планами научного-исследовательских работ научно-исследовательского учреждения, где выполнена диссертация.** В рамках межведомственного государственного научно-практического проекта MV-Atex-2018-92, BV-Atex-2018-13 на тему «Разработка четырёхрядной полунавесной хлопкоуборочной машины с вертикальными шпинделями для междурядья 60 см с высокими техническими показателями», выполненного при участии Ташкентского государственного технического университета (ТашГТУ), был реализован раздел ТашГТУ - «Повышение манёвренности и управляемости четырёхрядной полунавесной хлопкоуборочной машины с вертикальными шпинделями для междурядья 60 см, а также устойчивости технологических настроек».

**Целью исследования** Разработка технических решений и рекомендаций по повышению точности движения по рядкам и манёвренности, а в конечном итоге - эффективности полунавесных хлопкоуборочных машин серии МХ, агрегируемых с тракторами.

**Задачи исследования:**

изучение текущего состояния проблемы и выявление причин, по которым показатели навесных ХУМ с вертикальными шпинделями (ВШ), производимых ранее, выше, чем у современных навесных ХУМ;

исследование и оптимизация основных параметров рулевого привода ХУМ МХ-2,4 графоаналитическим методом с использованием программного обеспечения КОМПАС-3D;

исследование автоколебаний направляющих колёс полунавесных ХУМ и разработка технических решений и рекомендаций по обоснованию кинематических параметров рулевого управления;

обоснование схем и параметров системы автоматического контроля положения направляющих колёс (САК), разработка и внедрение опытных образцов устройств САК и указателей-направителей на ХУМ МХ-1,8 и МХ-2,4;

разработка проектной документации на предлагаемые технические

решения, их изготовление, проведение полевых испытаний ХУМ, оснащённых данными устройствами, а также оценка их экономической эффективности.

**Объекта исследования** В качестве объекта исследования выбрана четырёхрядная хлопкоуборочная машина МХ-2,4 с вертикальными шпинделями, предназначенная для сбора урожая на полях с междурядьем 0,6 м, и её рулевой привод.

**Предметом исследования** Параметры и математические модели направляющих колёс и рулевых приводов, расположенных на заднем мосту хлопкоуборочных машин серии МХ с вертикальными шпинделями, а также аналитические зависимости составляют основу оптимальных способов поворота ХУМ.

**Методы исследования.** В процессе исследования использовались основные законы высшей математики, методы теоретической механики, математической статистики, теория сельскохозяйственных машин, а также методы компьютерного моделирования. Экспериментальные исследования проводились с применением методов, изложенных в действующих нормативных документах (ГОСТ 26025-83, ГОСТ 20915-2011, О'z DSt 3090:2016, ГОСТ 24096-80, ГОСТ 7057-2001, ГОСТ 7463-2003).

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

разработана система, обеспечивающая автоматический контроль положения направляющих колёс полунавесных хлопкоуборочных машин измерением угла их поворота и позволяющая точно направлять машину вдоль рядков;

моделированием поворота полунавесной хлопкоуборочной машины МХ-2,4 в программе "Quick Basic" определены траектории центра агрегата и других его характерных точек при развороте, а также обоснованы схемы и параметры разворота агрегата для предлагаемой технологии "1,5-кратной обработки", предусматривающей последовательный двукратный проход для сбора общего урожая;

графоаналитическим методом определены основные параметры рулевой трапеции хлопкоуборочной машины МХ-2,4 – оптимальные значения длины поперечной тяги и углов изменения боковых рычагов, обеспечивающие устойчивость движения направляющих колёс;

на основе программы Matlab-Simulink разработана модель симуляции движения направляющих колёс полунавесных хлопкоуборочных машин в междурядьях хлопчатника и определены их автоколебания в зависимости от гироскопического эффекта.

**Практические результаты исследования** заключаются в следующем:

Для технологии «1,5-кратной» обработки рядов с последовательным двукратным проходом, предлагаемой для сбора урожая, были рекомендованы схемы разворота для хлопкоуборочных машин марки МХ на основе критерия минимизации размеров ( $L_n$ ,  $E$ ) и времени ( $t_{qb}$ ) разворотной полосы.

Обоснованы параметры трапеции рулевого управления, обеспечивающие



повышение манёвренности и точности движения ХУМ МХ-2,4, разработаны технические решения, такие как система автоматического контроля положения направляющих колёс и устройство-направитель-указатель. Внедрение этих решений позволило сократить время и расстояние разворота агрегата на краю поля более чем на 50 %, а также почти в два раза увеличить точность движения по рядам хлопчатника.

**Достоверность результатов исследования** объясняется правильным выбором методов, соответствующих поставленной задаче, подтверждением приведённых аналитических расчётов и разработанной математической модели результатами экспериментальных испытаний, а также их утверждением уполномоченными организациями.

**Научная и практическая значимость результатов исследования.** Научная значимость результатов исследования заключается в том, что разработанные математические модели, метод оптимизации, а также рекомендации по совершенствованию конструкции и параметров управляемого моста и рулевой трапеции хлопкоуборочной машины могут быть использованы для повышения манёвренности агрегата, точности его движения в междурядьях хлопчатника и, в конечном итоге, для повышения технического уровня машины.

Практическая значимость исследования заключается в том, что при использовании опытных образцов хлопкоуборочных машин МХ-1,8 и МХ-2,4, оснащённых системой автоматического контроля и устройством-направителем-указателем, обеспечено преимущество агрегата по средним значениям длины разворотного пути, времени разворота и ширины разворотной полосы на 10–20 % по сравнению с серийной машиной. В результате производительность агрегата за смену увеличивается на аналогичную величину, а среднее арифметическое значение отклонения оси симметрии уборочного аппарата от оси ряда хлопчатника снижается почти в 2 раза. Всё это способствует улучшению качества работы машины и создаёт возможность повышения полноты сбора урожая на 2,5–5 %.

**Введение результатов исследования.** На основе полученных результатов по повышению точности движения и манёвренности полунавесных хлопкоуборочных машин по междурядьям:

Для внедрения предлагаемой технологии полной уборки урожая за один проход в два последовательных захода разработаны и рекомендованы схемы разворота полунавесных хлопкоуборочных машин марки МХ, агрегатируемых с трактором, на основе критерия минимизации пути и времени разворота.

Обоснованные параметры рулевой трапеции, обеспечивающие повышение манёвренности и точности движения хлопкоуборочной машины МХ-2,4. Разработанные новые технические решения - обоснованные схемы и параметры системы автоматического контроля положения направляющих колёс и устройства-индикатора направления - переданы в ООО «Конструкторско-технологический центр сельскохозяйственного машиностроения» для практического применения (справка АО «Узавтосаноат» №17/07-25-0566 от 25 апреля 2024 года). В результате внедрения данных решений обеспечивается

сокращение времени и расстояния разворота агрегата на краю поля более чем на 50 %, а также почти двукратное повышение точности движения по междурядьям хлопчатника.

**Апробация результатов исследования.** Результаты данного исследования были обсуждены на 6 международных и 2 республиканских научно-практических конференциях.

**Опубликованность результатов исследования.** По теме диссертации опубликовано всего 16 научных работ, из них 5 - в научных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией при Кабинете Министров Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертаций, включая 4 в республиканских и 1 в международном журнале. Также опубликовано 8 работ в сборниках материалов республиканских и международных конференций, получено 1 патент на полезную модель и 2 патента на программное обеспечение.

**Структура и объем диссертации.** Состав диссертации включает введение, три главы, заключение и рекомендации, список использованных источников и приложения. Объем диссертации составляет 121 страниц.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ**

**Во введении** обоснована актуальность и необходимость проведенных исследований, описаны цель и задачи исследования, объект и предмет исследования, указано соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики, изложены научная новизна и практические результаты исследования, раскрыто теоретическое и практическое значение полученных результатов, приведены данные о внедрении результатов исследования в практику, результаты апробации работы, опубликованные работы и структура диссертации.

В первой главе диссертации, под названием **«Текущее состояние проблемы и задачи исследования»**, представлены научные исследования, посвящённые совершенствованию хлопкоуборочных машин (ХУМ) по теме диссертации, рассмотрены особенности ХУМ серии МХ, пути повышения эффективности сбора урожая с использованием новой усовершенствованной технологии, проанализированы основные факторы, влияющие на точность движения и маневренность ХУМ, а также исследования, направленные на улучшение маневренности. Проведён анализ конструкции рулевого управления и технических характеристик полунавесных ХУМ для тракторов, сформулированы цель и задачи исследования.

В навесных машинах моделей XNP-1,8В и 14XV-2,4А для тракторов кабина управления расположена над направляющим колесом (НК), что обеспечивает водителю хороший обзор обрабатываемого поля во время работы и позволяет обеспечить совпадение рабочей щели уборочного аппарата с продольной осью ряда хлопчатника.

Как уже упоминалось, в отличие от навесных машин моделей XNP-1,8В и 14XV-2,4А для трехколесных тракторов, в полунавесных машинах серии МХ

(ХМ), таких как МХ-1,8, МХ-2,4 и ХМ-2,8, процесс направления агрегата по рядам хлопчатника значительно усложняется — из кабины трактора водителю видны только капот трактора и ряды хлопчатника, в связи с чем он сосредотачивает внимание на углах капота трактора и с этим ориентирует агрегат по рядам. Это приводит к снижению точности движения машины по рядам, что, в свою очередь, увеличивает потерю урожая и ухудшает качество сбора. Кроме того, при движении по поворотной дорожке водитель не может видеть, в каком положении находятся задние направляющие колеса, и не имеет четкого представления о том, как он выполняет маневр.

Во второй главе диссертации, которая называется «**Теоретические исследования кинематики поворота и точности движения в рядах ХУМ МХ-2,4**», рассмотрены следующие вопросы: кинематические параметры и показатели маневренности объекта исследования - ХУМ МХ-2,4, моделирование кинематики поворота ХУМ с помощью программы Quick Basic, оптимизация основных параметров рулевого привода с использованием графоанализного метода в программе КОМПАС 3D, а также анализ автоколебаний при движении управляемых колес ХУМ между рядами хлопка.

**Рис. 1. Расположение центра агрегата и его кинематические характеристики при повороте полунавесного ХУМ МХ-2,4 (расстояние между колесами ведущего и управляемого мостов принято равным - колея).**

Основные параметры, определяющие кинематику агрегата, следующие: кинематическая длина агрегата  $L_k$ ; кинематическая ширина агрегата  $d_k$ ; продольная база  $L$ ; выходная длина агрегата  $e$  (рисунок 1).

Моделирование кинематики поворота полунавесного ХУМ МХ-2,4 с помощью программы Quick Basic и анализ результатов. Анализ основных типов и схем мобильных технологических агрегатов (МТА), схема ХУМ ХМР-1,8, произведённого на АО «Ташкентский завод сельскохозяйственного машиностроения» (ТЗСХМ) и ОАО «Гомсельмаш» (Республика Беларусь), модели МХ-1,8 и МХ-2,4 серии полунавесных агрегатов (рисунок 1), показывает, что определённые типы МТА не соответствуют классическим схемам. Это подчеркивает их уникальность, но также указывает на недостаточную изученность кинематики их поворота. В связи с этим особое значение имеет исследование кинематики поворота и маневренности четырёхрядного ХУМ при междурядье 0,6 м, обоснование размеров поворотной полосы, а также разработка технических решений и рекомендаций по улучшению маневренности агрегата и точности его движения по хлопковым междурядьям.

Так как рабочая скорость ВШ ХУМ не превышает 1,5 м/с, кинематически возможно изучить траектории движения всех точек агрегата при его передвижении и повороте вдоль рядов хлопчатника.

Как известно, основным способом поворота колесных МТА является поворот одной пары колес относительно другой в горизонтальной плоскости. Как уже отмечалось выше, радиус поворота для трактора или МТА с двумя управляемыми колесами определяется геометрическими соотношениями элементов схемы поворота.

$$R = L \cdot ctg \alpha_{o'r} \quad (1)$$

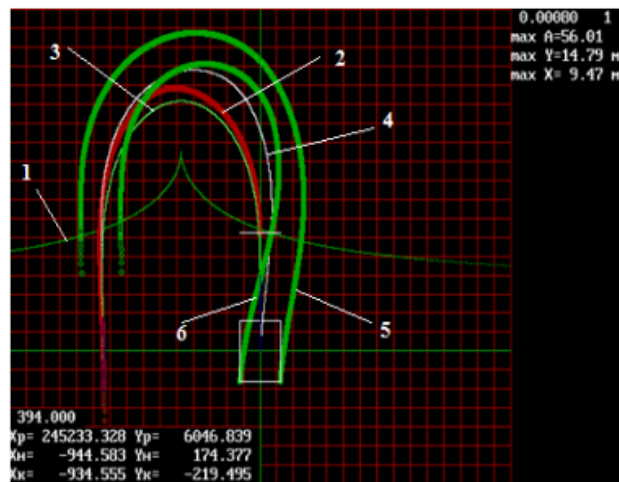
где  $L$  – база машины, м;  $\alpha_{o'r}$  – средний угол поворота колес внутри  $\alpha_i$  и снаружи  $\alpha_t$ :

$$\alpha_{o'r} = \frac{\alpha_i + \alpha_t}{2} \quad (2)$$

В процессе поворота радиус поворота изменяется от бесконечности до минимального значения и снова до бесконечности. Данную схему поворота можно представить в следующем виде (рисунок 2). Траектория движения средней точки правого управляемого колеса ПТМ типа МХ обозначается как точка А - она считается направляющей точкой машины, при этом допускается условие отсутствия бокового скольжения колес. Точка  $O_2$ , расположенная в середине отрезка, соединяющего центры ведущих колес (рисунок 1), считается кинематическим центром агрегата.

Траектории характерных точек, определяющих траекторию движения агрегата, были смоделированы графоаналитическим методом с использованием программы Quick Basic. Результаты расчёта движения этих точек при повороте и построения их траекторий приведены в таблице 1 и на рисунке 2. На основании заданных размеров точек  $O_{2+i}$  и  $A_{i+1}$  (рисунок 1), были определены следующие координаты характерных точек агрегата.

Анализ результатов расчёта параметров поворотной полосы по схеме поворота показывает, что для полунавесного ХУМ МХ-2,4 полученные значения превышают таковые для других двух ХУМ, ХМР-1,8 и самоходного комбайна John Deere 9970. Это связано с большей базой МХ-2,4 по сравнению с ХМР-1,8 и John Deere 9970.



1 – мгновенный центр вращения ВМ; 2 – кинематический центр агрегата (КЦА) точка  $O_2$ ; 3 – след внутреннего управляемого колеса  $A_i$ ; 4 – след внешнего направляющего колеса  $A_e$ ; 5 – самая внешняя точка агрегата  $B_e$ ; 6 – самая внутренняя точка агрегата  $B_i$  (рисунок 1).

**Рис. 2. Траектории характерных точек ХУМ МХ-2,4 при повороте.**

**Таблица 1**

**Результаты расчётов показателей поворотной полосы полунавесных ХУМ МХ-2,4 и ХМР-1,8, а также самоходной машины John Deere 9970.**

Модель ПТМ	База машины, мм	Колесо трактора угловая скорость, рад/с	Параметры пути разворота, мм	
			длина $X_p$	ширина $Y_p$
МХ-2,4	3940	0,0008	9470	14790
ХМР-1,8	3550	0,0009	8310	13060
John Deere 9970	3321	0,001	7450	11950

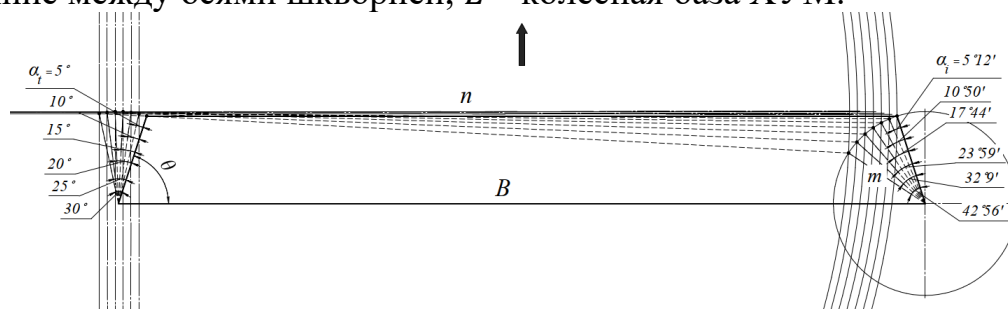
Анализ полученных данных показывает, что положение задних НК значительно влияет на траекторию поворота ХУМ. Предоставление водителю информации о положении НК во время движения в целом способствует улучшению управляемости агрегата, в частности, повышает точность поворотов и движения машины между рядами хлопчатника. Такую информацию можно получить, оснастив машину системой автоматического измерения и контроля угла поворота НК (САК НК). Кроме того, среди полунавесных машин параметры поворота у ХУМ марки ХМП-1,8 лучше, чем у машин марки МХ (см. таблицу 1). Это объясняется тем, что у данной машины тяговые агрегаты расположены в одной линии, «фронтально», в результате чего база агрегата короче примерно на 0,4 м. Если учесть, что размещение тяговых агрегатов в «тандемной» форме было выбрано для удобства технического обслуживания, то с точки зрения улучшения маневренности целесообразно использовать техническое решение,

предложенное автором и запатентованное как полезная модель «Подвижная рама ВШ ХУА», при переходе к «фронтальной» компоновке, как в машинах ХНП-1,8.

Для обеспечения устойчивости НК при повороте хлопкоуборочной машины (ХУМ) марки МХ (то есть их качения без проскальзывания) процесс поворота колёс был проверен графоаналитическим методом на основе конструкций рулевой трапеции. Для этого в программе КОМПАС-3D был определён угол поворота внутреннего колеса в зависимости от угла поворота внешнего колеса (рисунок 4). При этом теоретическое значение угла поворота внутреннего колеса  $\alpha_i$  определялось с использованием следующей зависимости:

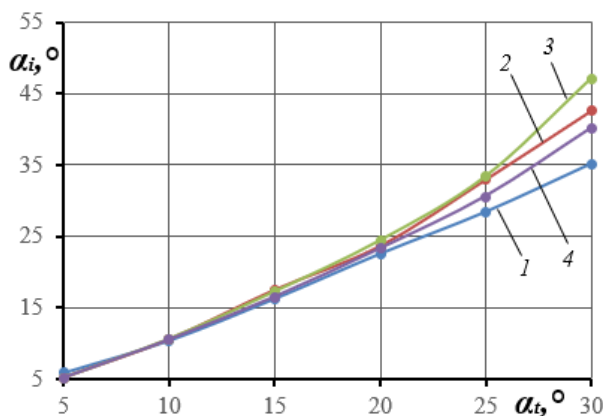
$$\operatorname{ctg} \alpha_t - \operatorname{ctg} \alpha_i = \frac{B}{L} \quad (3)$$

где  $\alpha_t$  – внешний угол поворота, град;  $\alpha_i$  – внутренний угол поворота, град;  $M$  – расстояние между осями шкворней;  $L$  – колесная база ХУМ.



$\theta$  – угол наклона поворотного рычага рулевой трапеции, град;  $B$  – расстояние между осями шкворней, мм;  $m$  – длина поворотного рычага, мм.

**Рис. 3.** Изменение поперечной длины тяги рулевой трапеции ХУМ марки МХ-2,4 при значениях  $n$  (-1), (0) и (+1) и определение угла поворота внутреннего колеса с помощью графоаналитического метода при изменении угла поворота внешнего колеса.



1 –  $\alpha_{in}$  теоретический угол поворота внутреннего колеса; 2-  $\alpha_{ihaq}$  угол поворота внутреннего колеса, определённый графоаналитическим методом для существующей конструкции; 3 –  $\alpha_{ihaq}$  угол поворота внутреннего колеса, определённый графоаналитическим методом для предлагаемой конструкции при значении (-1); 4 –  $\alpha_{ihaq}$  (+1) угол поворота внутреннего колеса, определённый графоаналитическим методом для предлагаемой конструкции при значении

**Рис. 4.** Графики изменения углов поворота внутреннего колеса в зависимости от углов поворота внешнего колеса в рулевой трапеции ХУМ марки МХ-2,4 при различных вариантах бокового рычага поворота

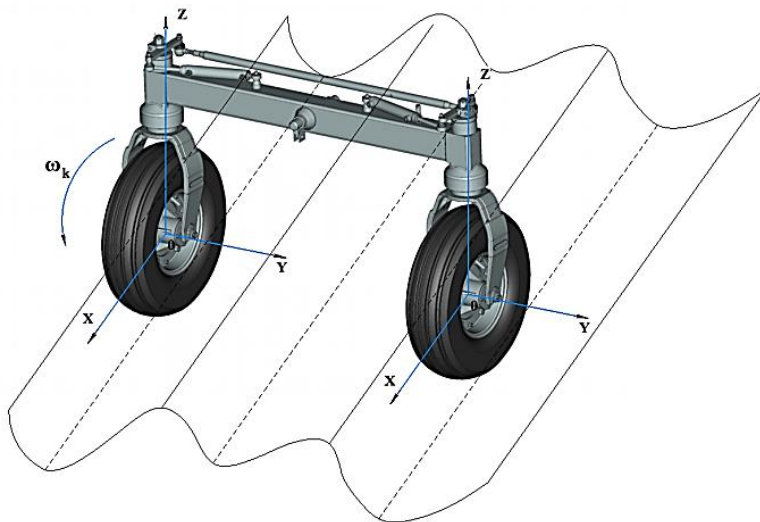
На основе приведённых графиков можно определить, при каком значении (-1), (0) или (+1) ошибка между фактическим и теоретическим углом поворота минимальна, то есть какое значение является оптимальным. Согласно результатам исследования, оптимальная длина поперечной тяги рулевой трапеции для самоходных 4-рядных хлопкоуборочных машин составила: для John Deere 9970  $n=1810$  мм, для CASE 420 -  $n=1430$  мм.

В качестве объекта исследования были взяты хлопкоуборочные машины марки МХ-1,8 и МХ-2,4, и на графике изменения углов поворота внутреннего колеса относительно углов поворота внешнего колеса в рулевой трапеции для них, при значении (+1), графоаналитически определённые значения углов оказались близкими к теоретическим. На основании этого можно принять оптимальные значения длины поперечной тяги рулевой трапеции: для МХ-1,8  $n=1740$  мм, МХ-2,4  $n=1110$  мм.

*Исследование автоколебаний НК ХУМ при движении между рядами хлопчатника.* В процессе работы ХУМ неровности гребней междурядий хлопчатника вызывают вертикальные колебания НК, а также создают гироскопический момент на колёсах. В подвесной системе НК (мосту) машины наблюдаются угловые колебания в двух плоскостях (рисунок 5).

Параметры угловых колебаний в плоскости  $YOZ$ :  $\psi$  - угол наклона оси колеса;  $C_\psi$  - угловая жёсткость подвески;  $J_\psi$  - момент инерции колеса относительно оси  $x$ .

Угловые колебания в плоскости  $XOY$ :  $\phi$  - угол поворота колеса;  $C_\phi$  - жёсткость рулевого привода и его элемента;  $J_\phi$  - момент инерции колеса относительно оси  $z$ ;  $J_k$  - момент инерции колеса относительно оси  $y$ ;  $u$  - внешнее воздействие.



**Рисунок 5. Схема движения направляющих колес по рядам**

Данные колебания описываются следующими системами уравнений, связанными с гироскопическим эффектом:

$$\begin{cases} J_\psi \ddot{\psi} + 2J_k \omega_k \dot{\phi} + C_\psi \psi + u = 0 \\ J_\phi \ddot{\phi} - 2J_k \omega_k \dot{\psi} + C_\phi \phi + u = 0 \end{cases} \quad (3)$$



где  $\psi = A \sin \omega t$ ;  $\dot{\psi} = A \omega \cos \omega t$ ;  $\ddot{\psi} = -A \omega^2 \sin \omega t$ ;  $\varphi = B \sin \omega t$ ;  
 $\dot{\varphi} = B \omega \cos \omega t$ ;  $\ddot{\varphi} = -B \omega^2 \sin \omega t$ ;

Моделирование и симуляция движения НК ХУМ МХ-1,8 были выполнены с использованием модуля Simulink программы Matlab (рисунок 6). Визуальная проверка системы оказалась весьма эффективной, поскольку она значительно дешевле и менее трудоёмкая по сравнению с экспериментальными (полевыми или лабораторными) испытаниями. Такой подход позволил смоделировать движение машины, провести виртуальные испытания, получить параметры системы на входе и выходе, а также протестировать систему при изменении параметров.

Графики угловых колебаний ведущего колеса (НК), полученные в программе Matlab-Simulink, приведены на рисунок 7. В качестве начальных данных были приняты следующие параметры:  $J_k = 13.938 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ ;  $C_\psi = 39753 \text{ N/m}$ ;  $J_\psi = 825 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ ;  $C_\phi = 39573 \text{ N/m}$ ;  $J_\phi = 110 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ .

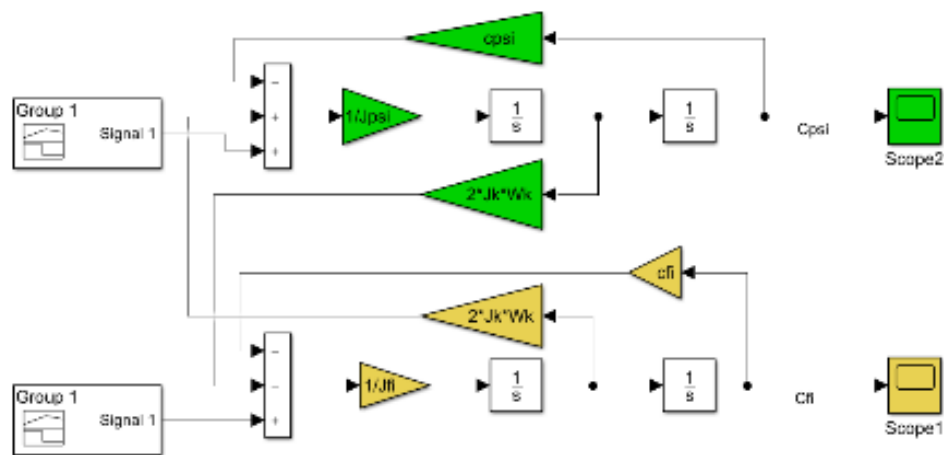
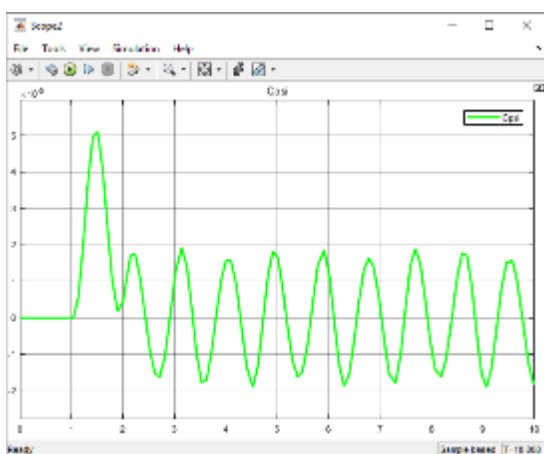
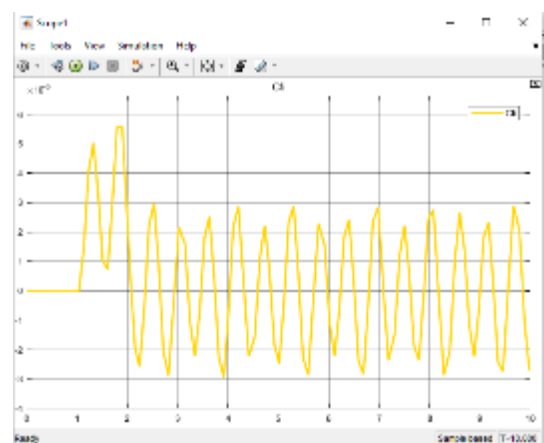


Рисунок 6. Моделирование движения НК ХУМ Simulink



а



б

а- изгиб оси колеса; б-поворот колеса

Рис. 7. Графики угловых колебаний НК

На основании результатов моделирования, то есть процесса симуляции движения НК ХУМ за 10 секунд, установлено следующее: В плоскости YOZ угол



наклона оси колеса достигает своей максимальной амплитуды ( $5^\circ$ ) на 1,5-й секунде, а начиная с 3-й секунды продолжает колебаться с устойчивой амплитудой в диапазоне от  $1^\circ$  до  $2^\circ$ . В плоскости XOY угол поворота колеса достигает своей максимальной амплитуды ( $5,5^\circ$ ) на 2-й секунде, а с этого же момента колебания продолжают с постоянной амплитудой в пределах от  $2^\circ$  до  $3^\circ$ .

В третьей главе диссертации **«Разработка технических решений и подготовка к полевым испытаниям для повышения точности движения и маневренности ХУМ МХ-2,4»** приведена схема и параметры САК положения НК ХУМ МХ-2,4, обоснование кинематических параметров рулевой трапеции машины, а также программа и методика лабораторно-полевых испытаний опытного полунавесного ХУМ МХ-2,4, оснащённого САК положений НК и указателем направления движения.

Система автоматического контроля положения НК облегчает управление машиной для оператора при маневрировании, разворотах и вхождении в новые ряды, путем измерения угла поворота колеса и предоставления результатов в виде информации оператору механического привода. Для обеспечения надёжности и эффективности САК было решено заменить индуктивный датчик углового измерителя (с высокой металлоёмкостью, тяжёлый и дорогой) на более дешёвый и надёжный потенциометрический датчик угла поворота. Также была поставлена задача повышения надёжности электронного блока индикатора и светодиодов, а также повышения надёжности электрической части системы, особенно при подключении системы к стандартной электрической системе агрегированного трактора. Эти задачи были реализованы на опытной ХУМ МХ-1,8, агрегированной с трактором ТТЗ-811.

Обоснование кинематических параметров рулевой трапеции ХУМ. Установка НК с углом наклона  $\gamma$  заставляет колёса отклоняться в бок. При этом колёса, связанные с машиной, движутся с небольшой боковой скольжением, что приводит к быстрому износу шин и увеличению расхода топлива. Для устранения этих недостатков угол отклонения ведущих колёс в процессе работы ХУМ исключает продольные и поперечные отклонения скручивания руля. Это, в свою очередь, позволяет настраивать сближение колёс путём изменения только длины рулевых тяг. При этом правильный выбор параметров рулевой трапеции играет ключевую роль в регулировке длины рулевых тяг. Ведь размеры рулевой трапеции должны удовлетворять следующему уравнению:

$$\operatorname{ctg} \beta - \operatorname{ctg} \alpha = \frac{B}{L}. \quad (4)$$

где  $\alpha$  – угол поворота внутренней НК;  $\beta$  – угол поворота внешней НК;  
 $B$  – расстояние между шкворнями передних осевых поворотных кулачков;  
 $L$  – основание машины.

В конструкции рулевого привода, то есть рулевой трапеции хлопкоуборочных машин МХ-1,8 и МХ-2,4, неизменяемым размером является расстояние  $B$  между осями шкворней. Этот размер составляет: для МХ-1,8 1800 мм, для МХ-2,4 1200 мм, что соответствует ширине колеи задних мостов этих

машин. Такое конструктивное решение обеспечивает возможность эксплуатации машин соответственно на полях с междурядьями хлопчатника 900 мм (МХ-1,8) и 600 мм (МХ-2,4).

Выполнение уравнения (4) обеспечивает качение НК без проскальзывания во время поворота. При этом колёса должны поворачиваться на разные углы. При соблюдении этих условий износ шин колёс будет минимальным.

При большом значении базы машины  $L$ , радиус поворота также будет большим. Даже если скорость движения высокая, а сам процесс поворота осуществляется медленно, радиус поворота всё равно остаётся большим.

Для обеспечения правильного соотношения между углами поворота НК необходимо правильно подобрать размеры элементов рулевой трапеции и согласовать эти размеры с продольной базой машины, а также с расстоянием между осями шкворней поворотных цапф при  $V=1800$  мм и  $B=1200$  мм.

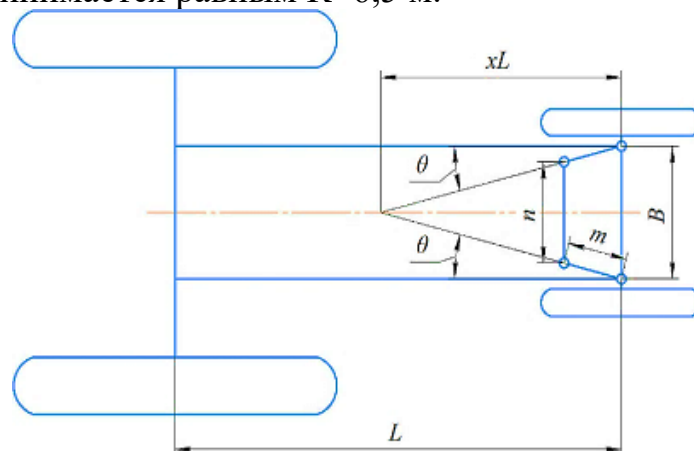
У колёсных машин при изменении колеи НК необходимо соответствующим образом изменять и длину поперечных тяг рулевой трапеции. В противном случае увеличивается боковое скольжение колёс, что приводит к ускоренному износу шин. Согласно схеме рулевой трапеции на рис. 8, взаимосвязь между углами поворота ведущих колёс и параметрами рулевой трапеции выражается следующим уравнением:

$$\beta = \theta + \arctg \frac{m \cos(\theta + \alpha)}{B - m \sin(\theta + \alpha)} - \arcsin \frac{m + 2B \sin \theta - 2m \sin^2 \theta - B \sin(\theta + \alpha)}{\sqrt{B^2 + m^2 - 2Bm \sin(\theta + \alpha)}}, \quad (5)$$

где  $m$ —длина рычага,  $\theta$ —угол наклона бокового рычага.

Из-за специфичной компоновки ХУМ марки МХ, рулевая трапеция расположена позади управляемого моста относительно его оси (см. рис. 10).

Известно, что согласно технической характеристике хлопкоуборочной машины МХ-1,8, при агрегатировании с трактором ТТЗ-LS 100 НС продольная база машины составляет  $L=3665$  мм, расстояние между осями шкворней задних ведущих колёс  $B=1800$  мм, а минимальный радиус поворота по внешним следам ведущих колёс принимается равным  $R=6,5$  м.



$m$ —длина бокового поворотного рычага,  $n$ —длина поперечного тяга;  
 $\theta$ —угол наклона бокового рычага;  $B$ —расстояние между шкворнями.

**Рисунок 8. Расположен сзади по отношению к управляемой оси схема рулевой трапеции**

Согласно технической характеристике хлопкоуборочной машины МХ-2,4, при агрегатировании с трактором ТТЗ-LS 100 НС, продольная база машины составляет  $L=3800$  мм, расстояние между осями шкворней задних ведущих колёс  $B=1200$  мм, а минимальный радиус поворота по внешним следам ведущих колёс принят равным  $R=6,8$  м. Однако указанные размеры недостаточно обоснованы, поэтому возникла необходимость проверки корректности их выбора на основе вышеуказанных требований.

При выборе параметров рулевой трапеции необходимо обеспечить минимальное отклонение между теоретическим углом поворота ведущих колёс, определённым в уравнении (4), и фактическим углом поворота, выраженным в уравнении (5), при максимальном повороте внутреннего колеса на угол  $\alpha_{\max}$  относительно центра поворота.

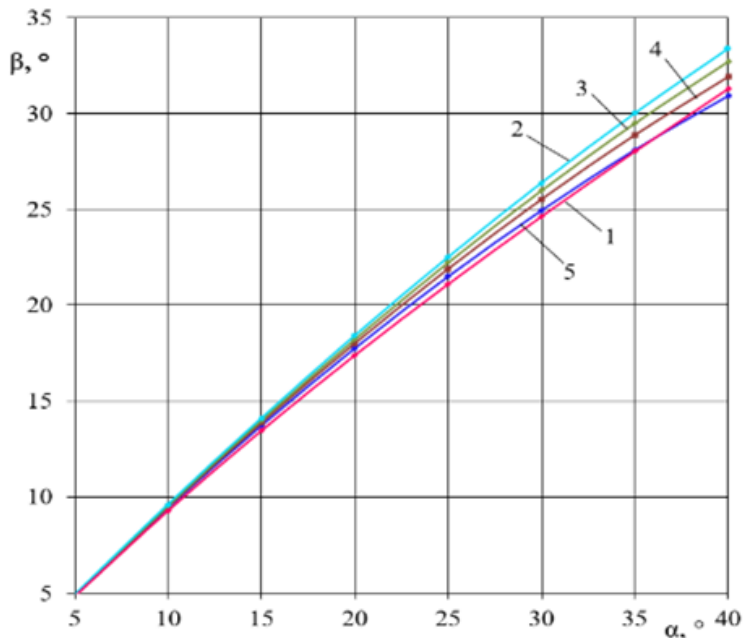
В нейтральном положении основными параметрами, определяющими кинематику рулевой трапеции, являются угол наклона бокового рычага  $\theta$ , расстояние  $B$  между осями шкворней поворотных цапф и длина бокового рычага  $m$ .

Угол отклонения бокового рычага рулевой трапеции определяется по следующей формуле (см. рис. 8):

$$\theta = \operatorname{arccctg} \frac{xL}{0,5B}, \quad (6)$$

при этом оптимальные значения угла  $\theta$  равны  $x = 0,7 \dots 1,0$  лежит в пределах досягаемости.

При этом оптимальные значения угла  $\theta$  находятся в диапазоне  $x = 0,7 \dots 1,0$



**Рис. 9. Графики теоретической зависимости углов поворота ведущих колес (внутреннего  $\alpha$  и внешнего  $\beta$ ) от значения для машины МХ-1,8.**

На основе полученных данных, при значении  $x=0,7$  основные размеры рулевой трапеции близки к теоретическим значениям. В связи с этим, на основе заданных в технических характеристиках машин размеров, приведены существующие и рекомендованные размеры рулевой трапеции в таблицах 2 и 3.

Таблица 2

**Существующие и рекомендуемые размеры рулевой трапеции ХУМ МХ-1,8**

Параметры рулевой трапеции	$x$	$\theta, ^\circ$	$n, \text{ mm}$	$m, \text{ mm}$
Существенная	1,06	13	1740	130
Рекомендуемые	0,7	21,5	1647	230

Таблица 3

**Существующие и рекомендуемые размеры рулевой трапеции ХУМ МХ-2,4**

Параметры рулевой трапеции	$x$	$\theta, ^\circ$	$n, \text{ mm}$	$m, \text{ mm}$
Существенная	0,04	19,34	1104	135
Рекомендуемые	0,7	14,12	1130	158

В заключение, с учетом технических и агротехнических требований, изложенных в стандартной сети Ts 25272604-017:2015, при агрегатировании ХУМ МХ-1,8 с трактором ТТЗ-LS 100 НС, с базой машины  $L=3665$  мм, шириной колеи  $B=1800$  мм, минимальным радиусом поворота по внешнему следу ведущих колес  $R=6,5$  м, а для ХУМ МХ-2,4 при агрегатировании с трактором ТТЗ-LS 100 НС с базой машины  $L=3800$  мм, шириной колеи  $B=1200$  мм и минимальным радиусом поворота по внешнему следу ведущих колес  $R=6,8$  м, рекомендуемые параметры рулевой трапеции обеспечат поворот ведущих колес без бокового скольжения, что в свою очередь приведет к снижению износа шин. Также, при правильной настройке углов отклонения и сближения ведущих колес, обеспечивается маневренность ХУМ, точность движения по рядам и стабильность.



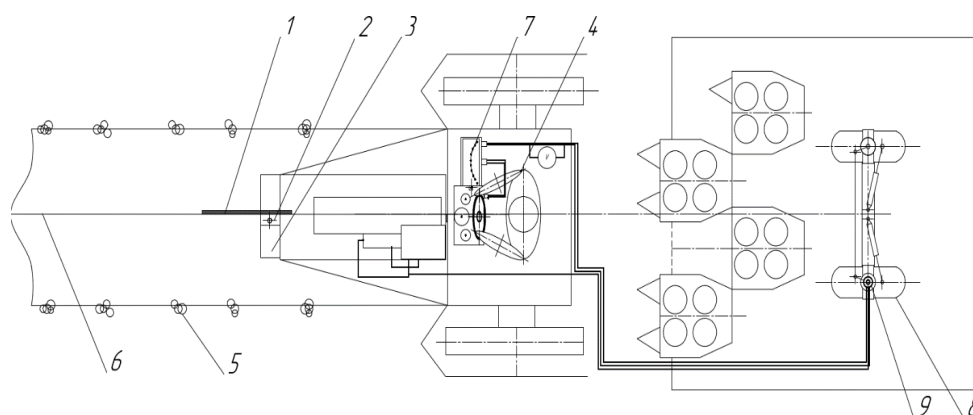
1–потенциметрический датчик; 2–пластиковое зубчатое колесо, установленное на оси датчика; 3–ось вилки НК; 4–зубчатое колесо, установленное на оси вилки

**Рис. 10. Установка модернизированного потенциметрического датчика на вилочный вал ПТМ НК**

Программа и методика лабораторно-полевых испытаний опытного МХ-2,4 ХУМ с оборудованием для САК НК и индикатора направления. В дополнение к электронным компонентам системы АНТ была модернизирована и механическая часть системы: привод датчика, передающий угол поворота оси ведущих колес на потенциометрический датчик, был адаптирован для конструкции машины МХ-2,4 на основе ранее разработанного привода для 2-рядной машины МХ-1,8. В связи с конструктивными особенностями балки заднего моста, установка потенциометрического датчика на ось вилки ведущих колес стала невозможной. Поэтому передача осуществляется через пластиковые зубчатые передачи, схема привода и его установка показаны на рисунк 10.

Для повышения управляемости и точности движения ХУМ была разработана устройство "указатель-направляющий", предназначенное для улучшения ориентации водителя при выполнении маневров, устанавливаемое на переднюю часть агрегатированного трактора (рисунк 11 и 13 а).

В процессе входа в ряды хлопка и движения агрегата по рядам, механический водитель с помощью направляющей-пластины 4 (рисунк 11) ориентирует среднюю ось междурядья 6 как «метку-ориентир», и агрегат движется по предполагаемой линии «водитель - направляющая пластина - ось междурядья». Это устройство, в сочетании с САК для ведущих колес, значительно повышает точность движения агрегата по рядам, что было подтверждено в полевых испытаниях.



1 – пластина индикатора; 2 – каркас направляющего индикатора; 3 – капот трактора; 4 – механический водитель; 5 – ряд хлопка; 6 – средняя ось междурядья.

**Рис. 11. Схема управления ХУМ по рядам хлопка с помощью направляющего индикатора.**

В четвертой главе диссертации под названием «**Экспериментальные исследования и оценка эффективности ПТМ МХ-2,4, оснащенных разработанными устройствами**» были рассмотрены следующие результаты: Исследование схемы и параметров разворота ХУМ МХ-2,4, Исследование точности перемещения улучшенного ХУМ МХ-2,4 по хлопковым рядам — Экспериментальные исследования автоколебаний НК ХУМ МХ, Оценка



технико-экономической эффективности ХУМ МХ-2,4, оснащенного САК положения НК а также оценка их воздействия на производительность и экономию ресурсов.

*Исследование схемы и параметров разворота МХ-2,4.* На основе результатов исследований по схемам и технологиям разворота в качестве основной схемы разворота была принята схема с замкнутой и открытой петлей (с движением назад).

При внедрении новой технологии «однократного, сегментированного, в 1,5 раза» сбора урожая, после разворота хлопкоуборочной машины МХ-2,4 ПТМ, две машины выполняют первый проход, а оставшиеся две собирают хлопок, оставшийся после первого прохода, то есть осуществляют второй сбор. Для обеспечения данной технологии была подтверждена рациональность и ресурсосберегающая эффективность схемы разворота машины по замкнутой петле (с движением назад), представленной на рисунок 14.

*Определение параметров разворота по предлагаемой схеме*

#### 1. Путь разворота

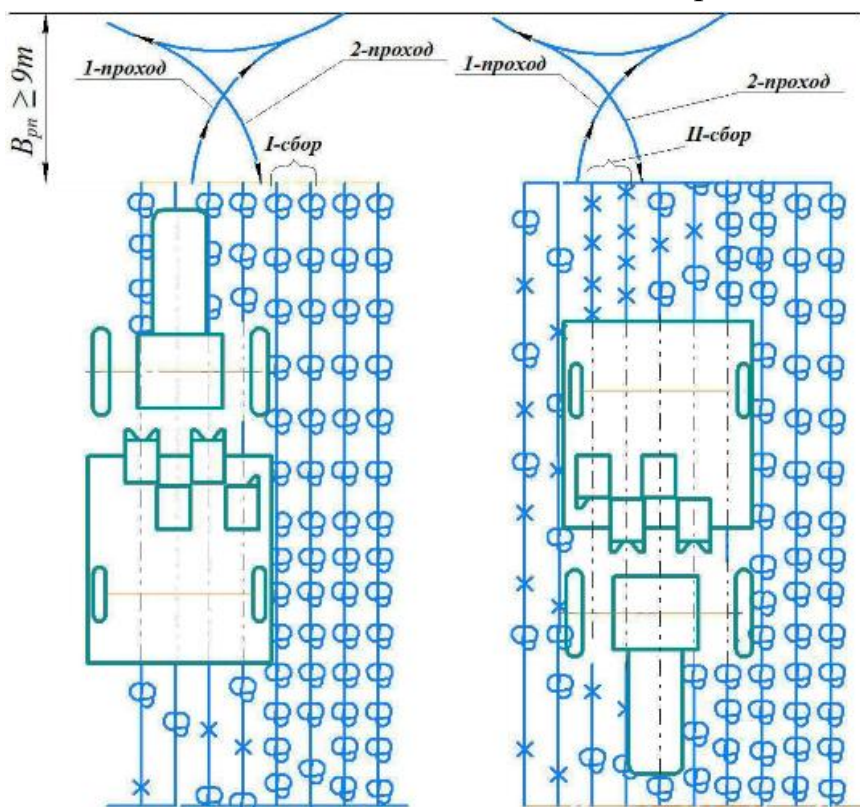
$$L_n = S_1 + S_2 + S_3 \quad (7)$$

где  $L_n$  -общая длина пути, м;  $S_1$ - длина пути выхода из агрегатов, м;  $S_2$  -длина пути обратного хода, м;  $S_3$  -длина пути входа в новые ряды агрегатов, м;  $E$ - ширина полоса разворота, м.

#### 2. Общее время, затрачиваемое на разворо

$$T_{qayr} = t_{chiq} + t_{qay} + t_{kir} \quad (8)$$

Здесь  $t_{chiq}$ ,  $t_{qay}$  и  $t_{kir}$  – составные части времени разворота, соответственно, время, затраченное на выход, движение назад и вход в новые ряды.



**Рис. 12. Схема разворота МХ-2,4 ПТМ по замкнутой петле (с движением назад)**

Измерения этих параметров были проведены во время полевых испытаний ХУМ (рисунок 13) в двух режимах работы - с установленным устройством САК НК и без него. Результаты измерений и их статистические характеристики приведены в таблице 4.



а-процесс маневра



б-вид следов поворота

**Рис.13. Процесс маневрирования ХУМ МХ-2,4, оснащённого САК НК и направляющим указателем**

**Таблица 4.**

**Результаты полевых измерений пути и времени разворота ХУМ МХ-2,4 по схеме с замкнутой петлёй (с движением назад).**

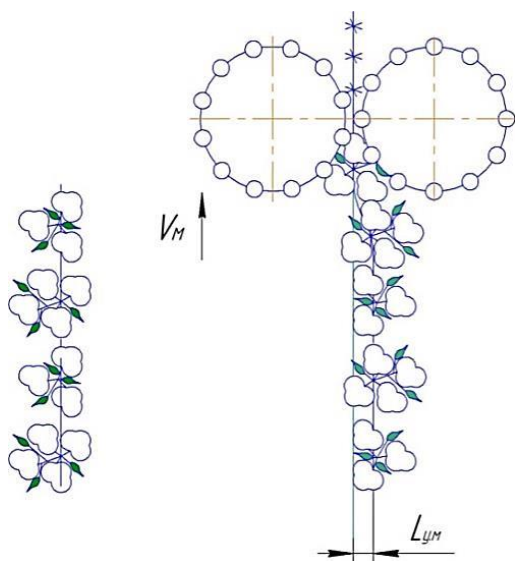
Оснащен САК НК							
Параметр	Повторы					Сред. арифм. значение, $S_{o'p}$	с <sup>с.к.о.</sup> , $\sigma$
	1	2	3	4	5		
$S_1, m$	7,0	7,5	7,3	7,8	7,1	7,3	0,28
$S_2, m$	9,0	8,7	8,8	9,1	8,6	8,8	0,18
$S_3, m$	10,8	11,5	11,0	11,2	10,0	10,9	0,51
$L_n, mm$	26,8	27,7	27,1	28,1	25,7	27,08	0,82
$t_{chiq}, s$	12	14	13	15	11	13	1,41
$t_{qay}, s$	21	24	20	22	19	21,2	1,72
$t_{kir}, s$	21	20	21	20	20	20,4	0,49
$T_{qayr}, s$	54	58	54	57	50	54,6	2,8
$E, m$	6,1	6,5	6,2	6,6	5,8	6,22	0,29
Не оснащен САК НК							
$S_1, m$	9,0	8,5	9,1	8,8	8,7	8,8	0,21
$S_2, m$	7,6	8,0	7,7	8,1	7,95	7,8	0,18
$S_3, m$	13,0	14,0	13,5	14,2	1,3	11,2	0,49
$L_{um}, m$	29,6	30,5	30,3	31,1	29,65	30,23	0,56
$t_{chiq}, s$	17	16	19	18	15	17	1,41
$t_{qay}, s$	24	26	28	27	26	26,2	1,32
$t_{kir}, s$	22	23	24	25	23	23,4	1,02
$T_{qayr}, s$	63	65	71	70	64	66,6	3,26
$E, m$	8,9	9,0	9,1	8,8	9,2	9,0	0,14

По исследованным показателям, ХУМ МХ-2,4, оснащённый САК НК и направляющим-указателем, имеет преимущества во всех аспектах по сравнению с машиной без этих устройств.

Исследование точности движения улучшенной ХУМ МХ-2,4 вдоль рядов хлопка. Изучение точности движения ХУМ МХ-2,4, оснащённого САК НК и “направляющим-указателем”, было проведено на хлопковых полях, где расстояние между рядами хлопка составляет 60 см.

Определение отклонений ( $L$ ) оси УА от оси ряда хлопка по длине ряда было выполнено с использованием измерителя на каждом участке через 0,5 м (рисунок 14), результаты приведены в таблице 5.

Результаты полевых испытаний показали, что конструкция полунавесного ХУМ МХ-2,4, которая является простой и недорогой по стоимости, а также оснащение его САК НК и направляющим-указателем, устанавливаемым на раму трактора, позволили повысить точность движения машины вдоль рядов хлопка. При работе с САК НК и направляющим-указателем среднее арифметическое отклонение оси рабочего органа от оси ряда хлопка уменьшилось более чем на 50%, то есть точность движения агрегата вдоль рядов хлопка увеличилась почти в два раза.



а-схема отклонения от оси массива хлопьев



б-процесс измерения отклонения

**Рис. 14. Схема измерения отклонений следов масла, сброшенного с распылителя, от оси ряда хлопка а и процесс измерения б.**

Экспериментальные исследования угловых колебаний НК ХУМ модели МХ. Для проверки результатов моделирования угловых колебаний НК ХУМ модели МХ, полученных в программе Matlab-Simulink, были проведены экспериментальные исследования.

Эксперименты были основаны на установке двух акселерометров модели MCU6050 на ось НК ХУМ и определении показателей угловых колебаний НК по осям координат  $x$ ,  $y$ ,  $z$  в процессе движения машины. Результаты исследований



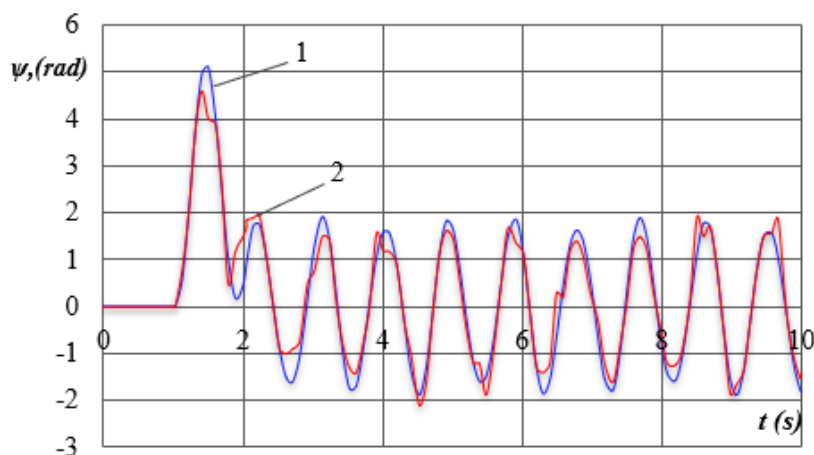
Таблица 5

Статистические характеристики результатов отклонений (L) оси рабочего органа от оси ряда хлопка на устройстве для сбора урожая.

№	Условия опыта ХУМ МХ-2,4	Среднее арифметическое, $\bar{L}$ , mm	Среднеквадратичное отклонение, $\sigma$ , mm	Коэффициент вариации V, %
1	Оснащен САК НК	12,0	7,81	65,08
2	Не оснащен САК НК	25,8	16,3	63,12

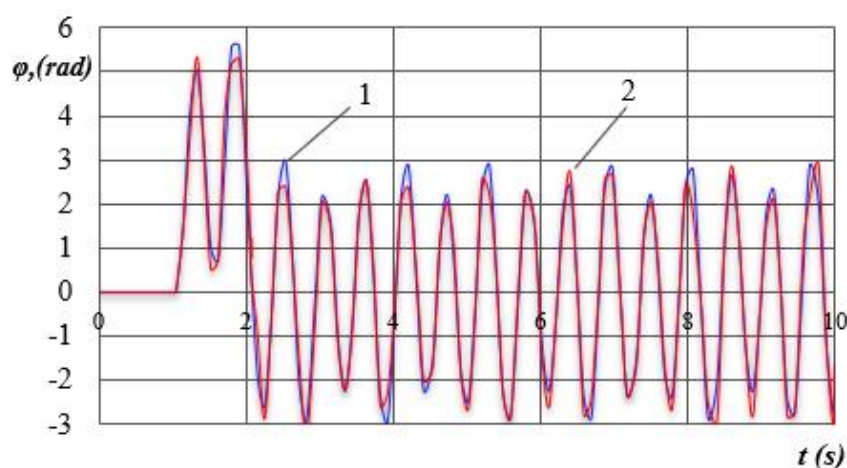
(рис. 15-а, б) соответствуют теоретическим результатам, полученным на основе математического моделирования движения НК ХУМ МХ-1,8 (рис. 7), с ошибкой 10-13%. Это подтверждает надежность разработанной математической модели.

В испытаниях опытный ХУМ МХ-2,4, оснащённый автоматической системой управления направляющим колесом и «направляющим-указателем», надёжно выполнял установленные технологические процессы, а его эксплуатационные характеристики соответствовали предъявляемым требованиям.



1—теоретический; 2—экспериментальный.

**Рис. 15. Угловые колебания наклона оси колеса**



1—теоретический; 2—экспериментальный.

**Рис. 16. Угловые колебания поворота колеса**

Расчёты, проведённые для определения технико-экономических показателей, показали, что за счёт сокращения времени и расстояния разворота ХУМ на 15-20%, производительность агрегата за смену увеличивается примерно на 6,5%, а также снижаются расходы на топливо и другие эксплуатационные затраты. Ежегодный экономический эффект от опытного ХУМ МХ-2,4, оснащённого направляющим колесом, САК и «направляющим-указателем», составляет 24 520 348,25 сум или 159 950 сум на гектар при сборе урожая.

## ВЫВОДЫ

1. Анализ рабочих характеристик полунавесных ХУМ МХ-1,8 и МХ-2,4 показывает, что расположение рабочей группы и управляющего органа за кабиной оператора вызывает трудности в управлении агрегатом и контроле технологического процесса. На основе анализа схем существующих МТА, схема агрегата в виде ХУМ модели серии МХ не соответствует ни одной из них, что свидетельствует о её уникальности, а следовательно, кинематические параметры и кинематика разворота этого агрегата недостаточно изучены.

2. В результате определения кинематических характеристик и параметров маневренности ХУМ МХ-2,4 и моделирования кинематики разворота с помощью программы Quick Basic для полунавесных МХ-2,4, ХМР-1.8 и самоходного ХУМ John Deere 9970 (США) были получены параметры пути разворота (длина  $X_p$  и ширина  $Y_p$ ) по схеме кругового разворота. Их анализ показал, что положение задней рабочей группы существенно влияет на траекторию разворота ХУМ. В перспективе, при внедрении новой «сегментированной технологии» для одновременного сбора всего урожая, была рекомендована схема разворота с замкнутой петлёй (с движением назад) для ХУМ МХ-2,4, которая является ресурсосберегающей.

3. Основные параметры рулевого управления МХ-2,4 ПТМ были оптимизированы графоаналитическим методом в программе КОМПАС 3D. Определена оптимальная длина поперечного сечения трапеции руля, равная  $n=1110$  мм. При настройке поперечного сечения на оптимальную длину, за счёт снижения скольжений под воздействием боковых сил при развороте, управляемость ПТМ значительно улучшается.

4. Математическое моделирование движения УГ' МХ-1,8 ПТМ вдоль рядов хлопка с помощью программы MATLAB-Simulink позволило получить входные и выходные параметры системы, а также изменять их для виртуальных испытаний системы. В процессе симуляции (длительность 10 с) полученные результаты показали, что на плоскости YOZ угловой наклон оси УГ' достигает своей максимальной амплитуды через 1,5 с ( $5^\circ$ ), и после 3 с продолжает двигаться с амплитудой ( $1^\circ \div 2^\circ$ ). На плоскости XOY угловой поворот УГ' достигает своей

максимальной амплитуды через 2 с ( $5,5^\circ$ ), и с 2 с продолжает колебания с постоянной амплитудой ( $2^\circ \div 3^\circ$ ). Эти результаты адекватны экспериментальным данным, полученным в компьютеризированной системе измерений с акселерометрами, установленными на осях колес, и ошибка составила 10-13%.

5. Полунавесной ХУМ МХ-2,4, исходя из схемы и параметров системы НК с САК НК и "направляющим-указателем", были разработаны макеты этих устройств. Оборудование ХУМ этой системой и устройствами позволяет улучшить ориентацию водителя при маневрировании и повысить точность движения по рядам хлопка. Структурные и принципиальные схемы САК, разработка прототипа информационного дисплея, а также испытания на лабораторно-стендовых установках показали, что абсолютная ошибка при измерении угла поворота НК  $\pm 90^\circ$  не превышает  $\pm 0,13^\circ$ .

6. Исследования, проведенные по обоснованию параметров рулевой трапеции ХУМ модели МХ, показали, что для агрегированных с трактором ТТЗ-LS-100 НС ХУМ МХ-1,8 и МХ-2,4 параметры рулевой трапеции, разработанные на основе требований сетевого стандарта ТС 25272604-017:2015, обеспечивают минимальные радиусы поворота по внешнему следу УГ' соответственно  $R_{\min} = 6,5$  м и 6,8 м. Это также обеспечивает поворот НК без бокового скольжения и снижает износ колес. Параметры рулевых трапеций в существующих конструкциях двух типов ХУМ значительно отличаются от рекомендуемых, и их необходимо учитывать при улучшении ХУМ серии МХ. Кроме того, правильная установка углов отклонения и сближения НК обеспечит маневренность ХУМ, точность движения по рядам и устойчивость. В существующих конструкциях используется подвеска с вилочным управлением, поэтому такие важные параметры, как угол отклонения НК и размеры сближения, которые обеспечивают точность и устойчивость направления движения, не были учтены.

7. По результатам полевых исследований, проведенных на полигоне ЦИССХТТ с опытным ХУМ МХ-2,4, оснащённым разработанной системой и устройствами, было установлено, что при использовании САК для НК среднее значение пути разворота агрегата составило  $L_{об} = 27,08$  м ( $\sigma = 8,26$  м), а время разворота  $T_{разв} = 54,6$  с ( $\sigma = 2,8$  с). Для агрегата без использования САК эти параметры составляют соответственно 30,2 м (5,6 м) и 66,6 с (3,26 с). Среднее значение ширины пути разворота с САК для ХУМ составило  $B_{qayr} = 6,22$  м ( $\sigma = 0,29$  м), для машины без САК — соответственно 9,0 м ( $\sigma = 0,14$  м). То есть, опытный ХУМ МХ-2,4 с разработанной системой и устройствами имеет преимущество над серийными машинами на 10–20% по этим показателям, что также приводит к увеличению производительности агрегата за смену.

8. Результаты полевых испытаний показали, что оснащение полунавесного ХУМ МХ–2,4 системой САК и направляющим-указателем улучшает точность движения агрегата по рядам хлопка. Отклонение оси симметрии рабочего органа от оси ряда хлопка в среднем уменьшилось почти в два раза, что в конечном итоге улучшает качество работы машины и создаёт возможность повышения полноты уборки на 2,5...5%.

9. На основе показателей, приведённых в 7–й и 8–й заключениях, годовая экономическая эффективность опытного ХУМ МХ–2,4, оснащённого системой САК и направляющим-указателем, составляет 24 520 348,25 сум.

**SCIENTIFIC COUNCIL ON AWARD OF THE SCIENTIFIC DEGREES  
DSc.03/30.12.2019.T.10.01 “TASHKENT INSTITUTE OF IRRIGATION  
AND AGRICULTURAL MECHANIZATION ENGINEERS”  
NATIONAL RESEARCH UNIVERSITY**

---

**TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY**

**SHERKOBILOV SOBIRJON MENGKOBILOVICH**

**IMPROVEMENT OF ROW ALIGNMENT ACCURACY AND  
MANEUVERABILITY OF SEMI-MOUNTED COTTON HARVESTING  
MACHINES**

**05.07.01 - Agricultural and melioration machines. Mechanization of agricultural and  
melioration works**

**DISSERTATION ABSTRACT OF THE DOCTOR (PhD)  
ON TECHNICAL SCIENCES**

**Tashkent–2025**

**The topic of the dissertation of the Doctor of Philosophy (PhD) in technical sciences was registered in the Higher Attestation Commission under the Ministry of Higher Education, Science and Innovation of the Republic of Uzbekistan on B2024.2.PhD/T4734**

The dissertation was completed at Tashkent State Technical University.

The abstract of the dissertation in three languages (Uzbek, Russian, English (summary)) is posted on the web page at: ([www.tiame.uz](http://www.tiame.uz)) and the Information Educational Portal “ZiyoNet” ([www.ziyo.net](http://www.ziyo.net)).

**Scientific supervisor:**

**Abdazimov Anvar Daniyarovich,**  
Doctor of Technical Sciences, Professor

**Official opponents:**

**Rizaev Anvar Abdullaevich**  
Doctor of Technical Sciences, Professor

**Duskulov Abdusattor Akhadovich**  
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

**Presenter organization :**

**Center for Certification and Testing of Agricultural Machinery and Technologies under the Ministry of Agriculture of the Republic of Uzbekistan**

The defense of the dissertation will take place on “\_\_\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2025 at \_\_\_\_\_ o'clock at the meeting of the Scientific Council DSc.05/13.05.2020.T.112.01 at the National Research University “Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers” (Address: 100000, Tashkent, Kori Niyoziy street, house 39. Tel./Fax: (99871) 237-09-45 e - mail: [admin.@tiame.uz](mailto:admin.@tiame.uz)).

The dissertation can be found at the Information Resource Center of the National Research University “Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers” (registration number). (Address: 100000, Tashkent, Kori Niyoziy Street, Building 39. Tel./Fax: (99871) 237-09-45 e - mail: [admin.@tiame.uz](mailto:admin.@tiame.uz) ).

The dissertation abstract was sent out on “\_\_\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2025.  
(Mailing protocol No. \_\_\_\_\_ dated “\_\_\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2025).

**B.S.Mirzayev**

Chairman of scientific Council on award scientific degrees, doctor of technical sciences, Professor.

**U.T.Kuziyev**

Scientific secretary of Scientific Council awarding scientific degrees, (PhD), associate professor.

**K.D.Astanakulov**

Chairman of scientific seminar under the Scientific Council on awarding scientific degrees, doctor of technical sciences, Professor.

## INTRODUCTION (abstract of the PhD dissertation)

**The aim of the study** is to develop technical solutions and recommendations for improving row-following accuracy and maneuverability, and ultimately enhancing the efficiency of MX-series semi-mounted cotton harvesting machines aggregated with tractors.

**The object of the study** is the MX-2.4 four-row cotton harvesting machine with vertical spindles, designed for harvesting crops in fields with a row spacing of 0.6 meters, along with its steering drive system.

**The scientific novelty of the study** is as follows:

a system has been developed that provides automatic control of the position of the guide wheels of semi-mounted cotton harvesting machine by measuring their steering angle, allowing the machine to be accurately guided along the rows;

by modeling the turning of the semi-mounted MX-2.4 cotton harvesting machine in the “Quick Basic” program, the trajectories of the center of the unit and other characteristic points during the turn were determined, and the schemes and parameters of the turn for the proposed “1.5-time processing” technology were justified. This technology involves two consecutive passes to collect the total yield;

using a graph-analytical method, the main parameters of the steering trapezoid of the MX-2.4 cotton harvesting machine were determined-optimal values of the transverse rod length and the angles of change of the side levers, ensuring the stability of the guide wheels’ movement;

based on the Matlab-Simulink program, a simulation model of the movement of the guide wheels of semi-mounted cotton harvesting machine in cotton row spacing was developed, and their self-oscillations were determined depending on the gyroscopic effect.

**Reliability of research results.** It is substantiated by the selection of research methods corresponding to the objectives, the validation of the proposed analyses and developed mathematical models through experimental testing, and the confirmation of the obtained results by authorized institutions.

**Implementation of research results.** Based on the results obtained in improving the row alignment accuracy and maneuverability of semi-mounted cotton harvesting machines:

Recommendations have been developed for turning schemes of semi-mounted cotton harvesters to be attached to MX-series tractors, aimed at minimizing the turning path and time, in order to implement the proposed technology of harvesting the crop completely in two consecutive passes;

Justified parameters of the steering linkage trapezoid have been determined to enhance the maneuverability and movement accuracy of the MX-2.4 cotton harvester; The newly developed technical solutions - including the automatic control system for the position of the guide wheels and the layout and parameters of the direction indicator device-have been submitted to the “Agricultural Machinery Design and Technology Center” LLC (based on reference No. 17/07-25-0566 dated April 25, 2024, by Uzavtosanoat JSC). As a result, the time and distance required for the unit to turn at

the edge of the field have been reduced by more than 50%, and the accuracy of movement between cotton rows has been improved nearly twofold.

**Structure and scope of the dissertation.** The dissertation consists of an introduction, four chapters, general conclusions, a list of references and appendices. The volume of the dissertation is 120 pages.



**E'LON QILINGAN ISHLAR RO'YXATI**  
**СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ**  
**LIST OF PUBLISHED WORKS**

**I bo'lim (I част; I part)**

1. O'zbekiston Respublikasi foydali modelga patent № FAP 01580. Vertikal shpindelli paxta terish apparati seksiyasining qo'zg'aluvchan ramkasi/ Abdazimov A.D., Sadriddinov A.S., Uljaev E., Azimov B.M., Shodiev J.G., Ubaydullaev U.M., Sherkobilov S.M. // Rasmiy axborotnoma. – 2018. – № 6

2. Abdazimov A.D., Sherkobilov S., Aripjanov A., Modeling of rotation kinematics of a semi-mounted cotton harvesting machine of the MX series. Tashkent STU: J.// Technical science and innovation, 4, –B. 252-260. 2020. (05.00.00; № 16 ).

3. Abdazimov A.D., Sherkobilov S.M // Исследования маневренности и точности вождения хлопкоуборочной машины MX-2,4. Agrotehnika dunyosi, 2019, № 8(21), С. 29-33. (05.00.00; № 19 ).

4. Sherkobilov S.M. MX-2,4 PTMning rul trapesiyasi parametrlarini optimallashtirish // IQRO JURNALI 2023. E-ISSN: B. 2181-4341. 279-287 b. (14 ResearchBib)

5. Abdazimov A.D., Shodiev J.G., Sherkobilov S.M. Исследование схем и параметров разворотов хлопкоуборочной машины MX–2,4 при технологии разового сбора всего урожая за два прохода. Вестник ТашГТУ, 2019 №2. С. 162-168. (05.00.00; № 16 ).

6. Sherkobilov S.M. Paxta terish mashinalarining xarakatlanish aniqligi va manyovrchanligini baxolaydigan asosiy omillar. Manyovrchanlikni oshirish bo'yicha olib borilgan tadqiqot ishlarining taxlili. IQRO jurnali. №10, 2024-y.: 216-226 b. (14 ResearchBib)

**II bo'lim (II част; II part)**

7. Sherkobilov S.M., Abdazimov A.D., Yuldashov E.A., Shodiev J.G. G'ildirakli mashinalarning yunaltiruvchi g'ildiraklarini og'ish burchaklarini tadqiq qilish qurilmasining dasturiy ta'minoti. DGU №19380. Elektron hisoblash mashinalari uchun yaratilgan dasturning rasmiy ro'yxatdan o'tkazilganligi to'g'risida guvohnoma. –2022.

Axmedov D.A., Aliboev B.A., Sherkobilov S.M., Alimov M.I Orqa g'ildiraklari boshqariluvchi bo'lgan g'ildirakli mashinalarda rul trapesiyasi parametrlarini xisoblash dasturi. DGU № 14391. Elektron hisoblash mashinalari uchun yaratilgan dasturning rasmiy ro'yxatdan o'tkazilganligi to'g'risida guvohnoma. – 2022.

9. Sherkobilov S.M., Shodiev J.G. MX seriyali paxta terish mashinalari boshqariluvchi g'ildiraklarining ilashish koeffitsientini aniqlash // “Innovatsion texnika va texnologiyalarning qishloq xo'jaligi va oziq ovqat tarmog'idagi muammo va istiqbollari” xalqaro ilmiy texnik anjuman. TDTU 2022. B.216-217.

10. Abdazimov A.D., Sherkobilov S., Axmedov A. and Shodiev J. Mathematical

modeling of the movement of the guide wheel of the cotton MX harvesting machine // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 1231 012020 IOP Publishingdoi: 10.1088/1755-1315/1231/1/012020 (2023).

11. Azimov B.M., Abdazimov A.D., Sherkobilov S.M., Ikhsanova Sh.Z. Modeling and numerical methods for studying the movement of a semi-mounted cotton harvesting machine // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 1076 (2022) 012005 IOP Publishing. doi:10.1088/1755-1315/1076/1/012005.

12. Абдазимов А.Д., Шерқобилов С.М. Выбор входного параметра для системы автоматического вождения хлопкоуборочной машины. Матер. междунар.научно-практ.конф. // Автомобиле- и тракторостроение. в 2-х томах. Том 1. Минск, БНТУ. С 2019. 251-253.

13. Sherkobilov S.M. MX-1,8 paxta terish mashinasi yo‘naltiruvchi g‘ildiraklarining burilish burchaklarini tadqiq qilish. Innovatsion texnika va texnologiyalarning qishloq xo‘jaligi oziq-ovqat tarmog‘idagi muammo va istiqbollari» TDTU 2024-y. B 131-132.

14. Sherkobilov S.M., Mamajonov S.A. Yo‘nalish ko‘rsatgichi va yo‘naltiruvchi gildiraklarlarining holatini avtomatik nazorat tizimini ishlab chiqish. Fan va texnika taraqqiyotida intellektual yoshlarning o‘rni // Respublika ilmiy-amaliy anjumani ma‘ruzalar to‘plami. 28.4.2023-Toshkent, ToshDTU, 2023 y. B. 719-721

15. Sherkobilov S.M., Olimov A. MX rusumli paxta terish mashinasi yo‘naltiruvchi g‘ildiraklari harakat yo‘nalishini belgilash mexanizmi ishlanmasi. Fan va texnika taraqqiyotida intellektual yoshlarning o‘rni. // Respublika ilmiy-amaliy anjumani ma‘ruzalar to‘plami. -Toshkent, ToshDTU, 2023 y, B.252-254

16. Абдазимов А.Д., Шерқобилов С.М., Алибоев Б.А., Шодиев Ж.Г‘. Обоснование параметров рулевой трапеции хлопкоуборочных машин типа MX. Сборник материалов международной конференции: механика, сейсмостойкость, машиностроение 27-29 мая 2024 г. 378-384 С.

Avtoreferat “Irrigatsiya va melioratsiya” ilmiy jurnali  
tahririyatida tahrirdan o‘tkazilgan va o‘zbek rus ingliz  
(tezis) tillaridagi matnlari mosligi tekshirildi  
(05.11.2025)

Bosishga ruxsat etildi: 23.01.2025 yil  
Bichimi 60x45 <sup>1</sup>/<sub>8</sub> “Times New Roman”  
Garniturada raqamli bosma usulida bosildi.  
Shartli bosma tabog‘i 3,25 Adadi: 35. Buyurtma № 60.

TTESI bosmaxonasida chop etildi.  
Toshkent shahri, Shohjahon ko‘ch., 5-uy.