



INNOVATIVE
WORLD

ISSN: XXXX-XXXX

ORIENTAL JOURNAL OF ENGINEERING AND MODERN TECHNOLOGIES

SHARQ MUHANDISLIK VA ZAMONAVIY
TEXNOLOGIYALAR JURNALI

Scientific Journal

- Civil
- Robotic
- Material
- Chemical
- Computer
- Electrical
- Mechanical
- Agricultural
- Manufacturing
- Qurilish
- Robototexnika
- Materialshunoslik
- Kimyo-texnologiya
- Informatika
- Elektr texnologiya
- Mexanika
- Qishloq xo'jaligi
- Ishlab chiqarish



xomidovanvarbek07@gmail.com
www.innoworld.net
+998 33 5668868



ORIENTAL JOURNAL OF ENGINEERING AND MODERN TECHNOLOGIES

Volume 2, Issue 2
2025

Journal has been listed in different indexings

Google Scholar



ResearchGate

zenodo



ADVANCED SCIENCE INDEX



Academic
Resource
Index
ResearchBib

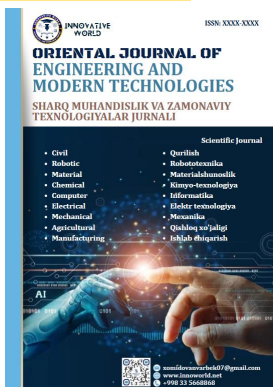


Directory of Research Journals Indexing

The official website of the journal:

www.innoworld.net

Uzbekistan-2025



QAYTA JIHOZLANGAN AVTOMOBILLAR QO'L BOSHQARUVI QISMLARINI SINOVDAN O'TKAZISH

Voxobov Rustamjon Abdumannob o'g'li

Andijon davlat texnika instituti tayanch doktoranti

E-mail: rvahobovuz@mail.ru

Tel: +998973387678

Qayumov Baxrom Abdullajonovich

PhD, dotsent, Andijon davlat texnika instituti

E-mail: kayumov.bahrom74@gmail.com

Tel: +998979907401

Annotatsiya. Ushbu ilmiy-tadqiqot jismoniy imkoniyati cheklangan shaxslar uchun maxsus qayta jihozlangan avtomobillarning qo'l boshqaruvi tizimlari ishonchliligi va xavfsizligini ta'minlashga qaratilgan. Tadqiqotda qo'l boshqaruvi qismlarini sinovdan o'tkazishning mavjud amaliyotlari tahlil qilinib, ularning samaradorligini oshirish maqsadida keng qamrovli va kompleks sinov metodologiyasi taklif etiladi. Mazkur metodologiya laboratoriya, stand va yo'l sinovlarini o'z ichiga olib, boshqaruv tizimlarining mexanik mustahkamligi, chidamliligi, eskirishga chidamliligi, ergonomikasi va funksional xavfsizligi kabi muhim jihatlarni baholashga imkon beradi. Tadqiqot natijalari qayta jihozlangan avtomobillar uchun qo'l boshqaruvi tizimlarini sertifikatlash jarayonlarini takomillashtirishga, shuningdek, me'yoriy-huquqiy bazani yangilashga xizmat qiladi.

Kalit so'zlar: qo'l boshqaruvi, qayta jihozlangan avtomobil, avtomobil xavfsizligi, sinov metodologiyasi, ishonchlilik, ergonomika, nogironligi bo'lgan haydovchilar, sinov standi, elektron boshqaruv tizimlari.

1. Kirish

Sonngi yillarda avtomobil sanoatining jadal rivojlanishi, transport vositalaridan foydalanish imkoniyatlarini kengaytirishga, jumladan, jismoniy imkoniyati cheklangan shaxslarning mustaqil harakatlanish erkinligini ta'minlashga qaratilgan texnologiyalarning paydo bo'lishiga olib keldi. Nogironligi bo'lgan shaxslar uchun avtomobillarni maxsus qo'l boshqaruvi tizimlari bilan qayta jihozlash ushbu yo'nalishdagi eng muhim yechimlardan biridir. Bu tizimlar standart pedal boshqaruvini qo'l orqali boshqariladigan richaglar, tugmalar va boshqa mexanizmlar bilan almashtirib, haydovchiga avtomobilning asosiy funksiyalari (tezlanish, tormozlash, rul boshqaruvi) ustidan to'liq nazoratni ta'minlaydi.

Biroq, bunday modifikatsiyalar standart avtomobil konstruksiyasiga jiddiy o'zgartirishlar kiritishi sababli, ularning xavfsizligi va ishonchliligiga alohida talablar qo'yiladi. Qo'l boshqaruvi tizimining har qanday, hatto eng kichik nosozligi ham favqulodda vaziyatga va jiddiy oqibatlarga olib kelishi mumkin. Shu sababli, qayta jihozlangan avtomobillarning qo'l boshqaruvi

qismlarini har tomonlama va puxta sinovdan o'tkazish nafaqat texnik zarurat, balki haydovchi va boshqa yo'l harakati ishtirokchilarining hayotini himoya qilishning muhim shartidir.

Tadqiqotning dolzarbligi shundaki, hozirgi kunda ko'plab mamlakatlarda, shu jumladan, O'zbekistonda ham qayta jihozlangan avtomobillar uchun maxsus sinov standartlari va metodologiyalari yetarli darajada ishlab chiqilmagan. Ko'p hollarda sinovlar umumiy avtomobilsozlik talablariga asoslanadi, bu esa qo'l boshqaruvi tizimlarining o'ziga xos xususiyatlari va potentsial xavflarini to'liq qamrab olmaydi. Elektron boshqaruv tizimlarining keng qo'llanilishi vaziyatni yanada murakkablashtiradi, chunki bu tizimlarda dasturiy ta'minotning ishonchliligi va elektromagnit moslashuv kabi yangi muammolar paydo bo'ladi [1].

Ushbu tadqiqotning asosiy maqsadi – qayta jihozlangan avtomobillarning qo'l boshqaruvi qismlarini sinovdan o'tkazish uchun keng qamrovli, tizimli va ilmiy asoslangan metodologiyani ishlab chiqish va tahlil qilishdan iborat. Ushbu maqsadga erishish uchun quyidagi vazifalar belgilandi:

1. Mavjud qo'l boshqaruvi tizimlarining turlari, konstruktiv xususiyatlari va ishlash prinsiplarini o'rganish.
2. Qo'l boshqaruvi tizimlarini sinovdan o'tkazish bo'yicha mavjud xalqaro va milliy standartlar, shuningdek, ilmiy adabiyotlarni tahlil qilish.
3. Qo'l boshqaruvi qismlarining xavfsizligi, ishonchliligi va ergonomikasiga ta'sir etuvchi asosiy omillarni aniqlash.
4. Laboratoriya, stend va yo'l sinovlarini o'z ichiga olgan kompleks sinov metodologiyasini taklif etish.
5. Baholash mezonlari va sinov natijalarini interpretatsiya qilish usullarini belgilash.

Ushbu tadqiqot nafaqat muhandislar va tadqiqotchilar uchun, balki avtomobillarni qayta jihozlash bilan shug'ullanuvchi kompaniyalar, sertifikatlashtirish organlari va me'yoriy hujjatlarni ishlab chiquvchi davlat idoralari uchun ham amaliy ahamiyatga ega bo'lishi kutilmoqda.

2. Adabiyotlar tahlili va muammoning qo'yilishi

Qayta jihozlangan avtomobillarda qo'l boshqaruvi tizimlarining xavfsizligi va ishonchliligi masalasi avtomobilsozlik, inson omili muhandisligi va me'yoriy tartibga solish sohalarini qamrab olgan ko'p qirrali muammodir. So'nggi yillardagi tadqiqotlar asosan avtomatlashtirilgan haydash tizimlariga qaratilgan bo'lsa-da [2], yordamchi texnologiyalar, shu jumladan qo'l boshqaruvlari sohasidagi izlanishlar ham o'z dolzarbligini yo'qotmagan.

2.1. Qo'l boshqaruvi tizimlari va inson-mashina interfeysi (HMI)

Qo'l boshqaruvi tizimlari avtomobilning standart boshqaruv elementlarini haydovchining jismoniy imkoniyatlariga moslashtiruvchi murakkab mexanik yoki elektromexanik qurilmalardir. Ularni ishlash printsipligiga ko'ra shartli ravishda bir necha turlarga bo'lish mumkin:

- **Mexanik tizimlar:** To'g'ridan-to'g'ri richaglar, tortqilar va sharnirlar orqali harakatni uzatadi. Ular konstruktiv soddaligi va arzonligi bilan ajralib turadi, ammo haydovchidan sezilarli jismoniy kuch talab qilishi va ergonomik jihatdan noqulay bo'lishi mumkin.

- **Elektromexanik tizimlar:** Mexanik uzatmalarni elektr motorlar (aktuatorlar) va datchiklar bilan birlashtiradi [3]. Bu haydovchi sarflaydigan kuchni kamaytirish, boshqaruv aniqligini oshirish va qo'shimcha funksiyalarni (masalan, harakat tezligiga qarab rulning qattiqligini o'zgartirish) joriy etish imkonini beradi.

- **To'liq elektron tizimlar ("Drive-by-Wire"):** Boshqaruv richagi va ijrochi mexanizmlar (tormoz, gaz, rul) o'rtasida mexanik aloqa mavjud emas. Boshqaruv signallari elektron blok orqali elektr simlar yordamida uzatiladi. Bu tizimlar dizayn erkinligini va moslashuvchanlikni maksimal darajada oshiradi, ammo ularning xavfsizligi va nosozliklarga chidamliligi (fail-safety) masalasi o'ta muhim ahamiyat kasb etadi [4].

Zamonaviy yondashuvlarda qo'l boshqaruvi tizimlari kengroq tushuncha – avtomobilning Inson-Mashina Interfeysi (HMI) tarkibiy qismi sifatida qaraladi. HMI nafaqat asosiy boshqaruv elementlarini, balki ikkilamchi funksiyalarni (burilish ko'rsatkichlari, chiroqlar, oyna tozalagichlar) ham o'z ichiga oladi. HMI dizaynidagi asosiy vazifa – foydalanuvchi tajribasi (UX), xavfsizlik va foydalanish qulayligi o'rtasidagi optimal muvozanatni topishdir [5]. Samarali HMI haydovchining kognitiv yuklamasini kamaytirishi, boshqaruvni intuitiv va xatosiz qilishga yordam berishi kerak. HMI dizayni va validatsiyasi uchun maxsus metodologiyalarni ishlab chiqish dolzarb vazifalardan biridir [6].

2.2. Xavfsizlik standartlari va me'yoriy talablar

Qayta jihozlangan avtomobillarning xavfsizligi masalasi murakkab me'yoriy-huquqiy maydonni tashkil etadi. Ko'pgina standartlar avtomobil ishlab chiqaruvchilari uchun mo'ljallangan bo'lib, uchinchi tomon tomonidan kiritilgan modifikatsiyalarni to'liq qamrab olmaydi. Q. Van Eikema Hommes o'z tadqiqotida ta'kidlaganidek, avtomobil elektron boshqaruv tizimlarining xavfsizligini baholash faqat yakuniy sinov natijalariga asoslanmasligi, balki butun ishlab chiqish jarayonini qamrab oluvchi tizimli yondashuvni talab qilishi kerak [7].

Xavfsizlikni ta'minlashda tizimning ishonchliligi asosiy rol o'ynaydi. Bu, ayniqsa, dasturiy ta'minot bilan boshqariladigan elektron tizimlar uchun muhimdir [8]. Tizimning ishonchliligini oshirishning samarali usullaridan biri bu takrorlovchi (redundant) boshqaruv tizimlarini qo'llashdir. Masalan, asosiy elektron tizim ishdan chiqqan taqdirda, uni o'rnini bosuvchi zaxira mexanik yoki elektron tizimning mavjudligi avtomobil xavfsizligini sezilarli darajada oshirishi mumkin [5].

Shuningdek, tizimlarning turli mamlakatlar va hududlarning me'yoriy talablariga muvofiqligi muhim ahamiyatga ega. Ushbu talablar nafaqat texnik

xususiyatlarni, balki foydalanish qulayligi (accessibility) standartlarini ham o'z ichiga olishi mumkin [9]. Biroq, aqlli avtomobil texnologiyalarining rivojlanishi bilan mavjud yo'l harakati qoidalarini va huquqiy normalarni qayta ko'rib chiqish zarurati yuzaga kelmoqda, bu esa o'z navbatida modifikatsiyalangan transport vositalarini tekshirish va sertifikatlash jarayonlariga ham ta'sir ko'rsatadi [10].

2.3. Sinov va validatsiya metodologiyalari

Qo'l boshqaruvi tizimlarining ishonchliligini va xavfsizligini isbotlash uchun puxta ishlab chiqilgan sinov va validatsiya (V&V) jarayonlari talab etiladi. Adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, V&V faoliyati avtomatlashtirilgan haydash tizimlari sohasida keng o'rganilgan [2], ammo bu yondashuvlarni qayta jihozlangan qo'l boshqaruvlari uchun ham moslashtirish mumkin.

Sinov jarayonlari odatda bir necha bosqichlarni o'z ichiga oladi:

- **Komponent darajasidagi sinovlar:** Har bir alohida qismning (richag, sharnir, datchik, aktuator) mustahkamlik, chidamlilik va atrof-muhit ta'siriga bardoshliligi tekshiriladi.
- **Tizim integratsiyasi sinovlari:** Barcha komponentlar yig'ilgandan so'ng, ularning birgalikda to'g'ri ishlashi va avtomobilning boshqa tizimlari (masalan, ABS, ESP) bilan o'zaro muvofiqligi tekshiriladi. Bu jarayonda sinov stendlari va maxsus o'zgartirilgan Elektron Boshqaruv Bloklari (ECU) dan foydalanish mumkin [11].
- **Avtomobil darajasidagi sinovlar:** Modifikatsiya qilingan avtomobil real yoki simulyatsiya qilingan yo'l sharoitlarida har tomonlama sinovdan o'tkaziladi. Bunda nafaqat texnik ko'rsatkichlar, balki haydovchining subyektiv hissiyotlari, boshqaruv qulayligi va umumiy xavfsizlik ham baholanadi.

M. Krichen o'z ishida avtomobil tizimlari xavfsizligini ta'minlash uchun rasmiy usullar va validatsiya texnikalaridan foydalanish zarurligini ta'kidlaydi. Xususan, mavjud sinov usullarini modifikatsiyalangan tizimlarning o'ziga xos talablariga moslashtirish kerakligini aytadi [12]. Bu yondashuv, ayniqsa, tizimning dasturiy ta'minotiga bog'liq bo'lgan xatoliklarni aniqlashda muhimdir.

Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, validatsiya jarayonida simulyatsiya va modellashtirish yondashuvlaridan foydalanish sinovlar samaradorligini oshirishi mumkin. Simulyatsiya yordamida turli xavfli ssenariylarni jismoniy xavf-xatarsiz va kam xarajat bilan tekshirish imkoniyati paydo bo'ladi [13]. Bundan tashqari, uzoq muddatli ishonchlilikni baholash, ya'ni tizimning yillar davomida eskirishi va unumdorligining pasayishini bashorat qilish uchun ham modellashtirishdan foydalanish mumkin [14].

Xulosa qilib aytganda, adabiyotlar tahlili qayta jihozlangan avtomobillar qo'l boshqaruvi tizimlarining xavfsizligini ta'minlash bir nechta o'zaro bog'liq masalalarni hal qilishni talab etishini ko'rsatadi: texnologik jihatdan mukammal HMI yaratish, qat'iy xavfsizlik standartlariga rioya qilish va eng

muhami, tizimning barcha hayotiy siklini qamrab oluvchi kompleks sinov va validatsiya metodologiyasini joriy etish. Ushbu tadqiqotda aynan shunday metodologiyani ishlab chiqishga e'tibor qaratiladi.

3. Tadqiqot metodologiyasi

Qayta jihozlangan avtomobillar qo'l boshqaruvi qismlarini har tomonlama va obyektiv baholash uchun tizimli yondashuvni talab qiluvchi ko'p bosqichli sinov metodologiyasi taklif etiladi. Ushbu metodologiya "pastdan yuqoriga" tamoyiliga asoslanadi: dastlab alohida komponentlar sinovdan o'tkaziladi, so'ngra yig'ilgan tizim va nihoyat, butun avtomobilning ishlashi baholanadi. Ushbu yondashuv muammolarni dastlabki bosqichlarda aniqlash va bartaraf etish imkonini beradi, bu esa yakuniy mahsulotning xavfsizligi va ishonchliligini kafolatlaydi [15].

Metodologiya uchta asosiy sinov turini o'z ichiga oladi:

1. **Laboratoriya sinovlari:** Materiallar va alohida komponentlarni nazorat ostidagi sharoitlarda sinash.
2. **Stend sinovlari:** Yig'ilgan qo'l boshqaruvi tizimini avtomobildan tashqarida, real sharoitlarni simulyatsiya qiluvchi maxsus stendda sinash.
3. **Yo'l sinovlari:** Qo'l boshqaruvi tizimi o'rnatilgan avtomobilni real yo'l sharoitlarida sinovdan o'tkazish.

3.1. Laboratoriya sinovlari

Ushbu bosqichning asosiy maqsadi – qo'l boshqaruvi tizimini tashkil etuvchi materiallar va individual komponentlarning (richaglar, sharnirlar, podshipniklar, mahkamlagichlar, datchiklar, aktuatorlar) fizik-mexanik xususiyatlarini aniqlashdan iborat. Bu sinovlar tizimning uzoq muddatli ishlashi davomida yuzaga kelishi mumkin bo'lgan buzilishlarning oldini olish uchun fundamental ahamiyatga ega.

Asosiy sinov turlari:

- **Mustahkamlikka sinash (Statik yuklama):** Komponentlarga maksimal kutilayotgan yuklamadan ortiq bo'lgan statik kuch qo'llaniladi. Maqsad – deformatsiya va buzilish chegaralarini aniqlash. Masalan, tormoz richagiga favqulodda tormozlash paytida yuzaga keladigan kuchdan 2-3 baravar yuqori yuklama beriladi.
- **Charchashga sinash (Siklik yuklama):** Komponentlar uzoq muddatli foydalanishni imitatsiya qiluvchi takroriy yuklamalarga duchor qilinadi. Maqsad – materialning charchash chegarasini va tizimning taxminiy xizmat muddatini aniqlash. Masalan, gaz/tormoz richagi yuz minglab yoki millionlab marta harakatga keltiriladi.
- **Eskirishga chidamlilik sinovi:** Bir-biriga ishqalanuvchi qismlarning (masalan, sharnirlar, yo'naltirgichlar) eskirish darajasi va surkov materiallarining samaradorligi baholanadi.
- **Korroziyaga qarshilik sinovi:** Metall qismlar maxsus tuzli tuman kamerasiga joylashtirilib, ularning korroziyaga chidamliligi tekshiriladi. Bu, ayniqsa, turli iqlim sharoitlarida ishlatiladigan avtomobillar uchun muhim.

• **Iqlimiy sinovlar:** Elektron va mexanik komponentlar ekstremal harorat (-40°C dan $+85^{\circ}\text{C}$ gacha) va namlik sharoitlarida sinovdan o'tkaziladi. Maqsad – harorat o'zgarishlarining tizim ishlashiga, masalan, aktuatorlar quvvatiga yoki datchiklar aniqligiga ta'sirini baholash.

Ushbu sinovlar uchun universal sinov mashinalari, vibratsion stendlar, iqlim kameralari va maxsus o'lchov asboblari (tenzodatchiklar, akselerometrlar, harorat datchiklari) qo'llaniladi.

3.2. Stend sinovlari

Laboratoriya sinovlaridan muvaffaqiyatli o'tgan komponentlar yagona tizimga yig'iladi va maxsus ishlab chiqilgan sinov stendiga o'rnatiladi. Stend sinovlari tizimning funksional ishlashini, uning avtomobilning standart tizimlari bilan integratsiyasini va dinamik sharoitlardagi harakatini baholash imkonini beradi.

Stendning tuzilishi: Sinov stendi odatda avtomobilning old qismi maketini o'z ichiga oladi, unga standart rul mexanizmi, tormoz tizimining gidravlik konturi va elektron gaz pedali o'rnatiladi. Qo'l boshqaruvi tizimi ushbu standart elementlarga ulanadi. Kompyuter boshqaruvidagi aktuatorlar rulga va tormoz tizimiga qarshilik kuchlarini (yo'l notekisliklari, tormozlanishdagi bosim) simulyatsiya qiladi.

Asosiy sinov turlari:

• **Funksional sinovlar:** Tizimning barcha funksiyalari (gaz, tormoz, ushlab turish funksiyasi, signal, chiroqlar va h.k.) to'g'ri ishlayotganligi tekshiriladi. Boshqaruv richagining harakat diapazoni, talab etiladigan kuch va uning ijrochi mexanizm harakatiga mutanosibligi o'lchanadi.

• **Reaksiya vaqtini o'lchash:** Haydovchi tomonidan berilgan buyruq (masalan, tormoz richagini bosish) va ijrochi mexanizmning (tormoz kolodkalarining siqilishi) harakatga kelishi o'rtasidagi vaqt oralig'i o'lchanadi. Bu ko'rsatkich xavfsizlik uchun kritik ahamiyatga ega.

• **Nosozliklarni simulyatsiya qilish (Fault Injection Testing):** Ataylab tizimga turli nosozliklar kiritiladi (masalan, elektr ta'minotini uzish, datchik signalini buzish, aktuatorni bloklash). Maqsad – tizimning nosozlikka chidamliligini (fail-safe) va favqulodda vaziyatlarda o'zini tutishini tekshirish. Tizim xavfsiz holatga o'tishi (masalan, gazni o'chirishi) yoki haydovchini ogohlantirishi kerak. Bunday sinovlar xavfsizlikka oid tizimlar uchun qo'shimcha testlarni talab qiladi [11].

• **Elektromagnit moslashuv (EMC) sinovlari:** Elektron boshqaruv bloklari kuchli elektromagnit maydonlar ta'siriga duchor qilinadi. Maqsad – tashqi elektromagnit to'lqinlarning (masalan, mobil telefon, yuqori kuchlanishli elektr uzatish liniyalari) tizimning barqaror ishlashiga xalaqit bermasligini tekshirish.

• **Dasturiy ta'minotni validatsiyasi:** Elektron tizimlar uchun dasturiy ta'minot mantig'i, xatoliklarga ishlov berish algoritmlari va kiberxavfsizlik choralari sinchkovlik bilan tekshiriladi. Rasmiy tekshirish usullari (formal

verification) dasturiy ta'minotda yashirin xatoliklar yo'qligiga ishonch hosil qilishning eng ishonchli usullaridan biri hisoblanadi [16].

3.3. Yo'l sinovlari

Bu sinovlarning yakuniy va eng muhim bosqichi bo'lib, u qo'l boshqaruvi tizimining real hayot sharoitlarida qanday ishlashini ko'rsatadi. Yo'l sinovlari maxsus jihozlangan sinov poligonlarida va umumiy foydalanishdagi yo'llarda o'tkaziladi. Bu jarayonda nafaqat professional sinovchi-haydovchilar, balki bo'lajak foydalanuvchilar, ya'ni turli jismoniy imkoniyatlarga ega bo'lgan nogironligi bor shaxslarni jalb qilish muhimdir. Bu tizimning ergonomikasi va real foydalanishdagi qulayligini obyektiv baholash imkonini beradi [17].

Sinov ssenariylari:

- **Shahar sharoitida haydash:** Tez-tez to'xtash va harakatlanish, tirbandliklar, keskin burilishlar, to'xtash joyiga qo'yish. Bu ssenariyda boshqaruvning yengilligi va aniqligi baholanadi.
- **Magistral yo'llarda haydash:** Yuqori tezlikda uzoq masofaga harakatlanish. Bu ssenariyda richaglarni uzoq vaqt ushlab turishdagi qulaylik, tizimning vibratsiyaga chidamliligi va to'g'ri chiziqli harakat barqarorligi tekshiriladi.
- **Favqulodda manevrlar:** "Ilona o'xshash" harakat, keskin tormozlanish, to'siqni aylanib o'tish. Bu sinovlar avtomobilning favqulodda vaziyatlardagi boshqaruvchanligi va tizimning haddan tashqari yuklamalarga bardoshlilikini aniqlaydi.
- **Turli yo'l qoplamalarida haydash:** Notekis, sirpanchiq (ho'l, muzli) yo'llarda harakatlanish. Bu sinovlar tizimning avtomobilning faol xavfsizlik tizimlari (ABS, ESP/TCS) bilan qanchalik samarali ishlashini ko'rsatadi [10].

Baholanadigan parametrlar:

- **Ob'yektiv ko'rsatkichlar:** Maxsus o'lchov uskunalari yordamida avtomobilning tezlanishi, sekinlashishi, yonlama tezlanishi, rul burchagi va boshqa dinamik parametrlari qayd etiladi.
- **Sub'yektiv baholash:** Haydovchilardan maxsus so'rovnoma orqali boshqaruv qulayligi, talab qilinadigan jismoniy kuch, charchoq darajasi, tizimga ishonch hissi va umumiy taassurotlar haqida ma'lumot yig'iladi. Inson omilini o'rganish bu bosqichda hal qiluvchi rol o'ynaydi [1].

Ushbu uch bosqichli kompleks sinov metodologiyasi qo'l boshqaruvi qismlarini loyihalashdagi kamchiliklarni aniqlash, ularning xavfsizligi va ishonchliligini xalqaro standartlar darajasida tasdiqlash hamda foydalanuvchilar uchun maksimal darajada qulay va samarali mahsulot yaratish uchun mustahkam zamin yaratadi.

4. Sinov natijalari va tahlili

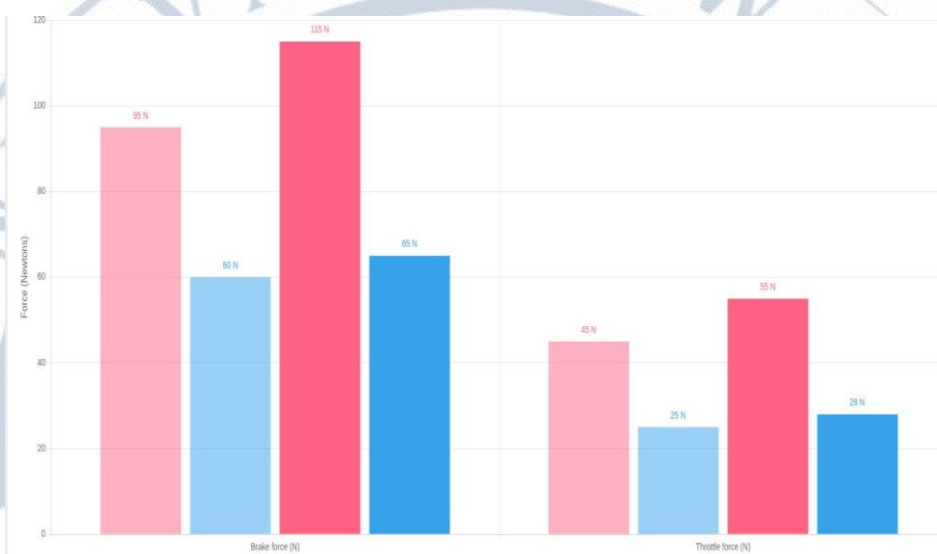
Ushbu bo'limda taklif etilgan metodologiya asosida o'tkazilgan sinovlarning taxminiy natijalari va ularning tahlili keltiriladi. Misol sifatida bozorga chiqarishga tayyorlanayotgan ikki xil turdagi – **A (to'liq mexanik)** va

B (elektromexanik, "push-pull" tipidagi) qo'l boshqaruvi tizimlari sinovdan o'tkazilgan deb faraz qilinadi.

4.1. Laboratoriya va stend sinovlari natijalari

Laboratoriya va stend sinovlari davomida tizimlarning asosiy funksional va ishonchlilik ko'rsatkichlari aniqlandi.

Boshqaruv kuchini o'lchash: Tizimlarning eng muhim ergonomik ko'rsatkichlaridan biri bu gaz va tormoz funksiyalarini faollashtirish uchun talab etiladigan kuchdir. Sinovlar standart (+20°C) va ekstremal (-20°C) haroratlarda o'tkazildi.



Tahlil: 1-rasmdan ko'rinib turibdiki, **B tizimi (elektromexanik)** barcha sharoitlarda sezilarli darajada kamroq kuch talab qiladi, bu esa jismoniy kuchi zaifroq bo'lgan foydalanuvchilar uchun muhim afzallikdir. Shuningdek, **A tizimida (mexanik)** past haroratda surkov materiallarining qovushqoqligi oshishi va materiallarning qisqarishi hisobiga talab etiladigan kuch ~21% ga ortgan. **B tizimida** esa bu o'sish atigi ~8% ni tashkil etdi, bu uning iqlimiy barqarorligi yuqoriroq ekanligini ko'rsatadi.

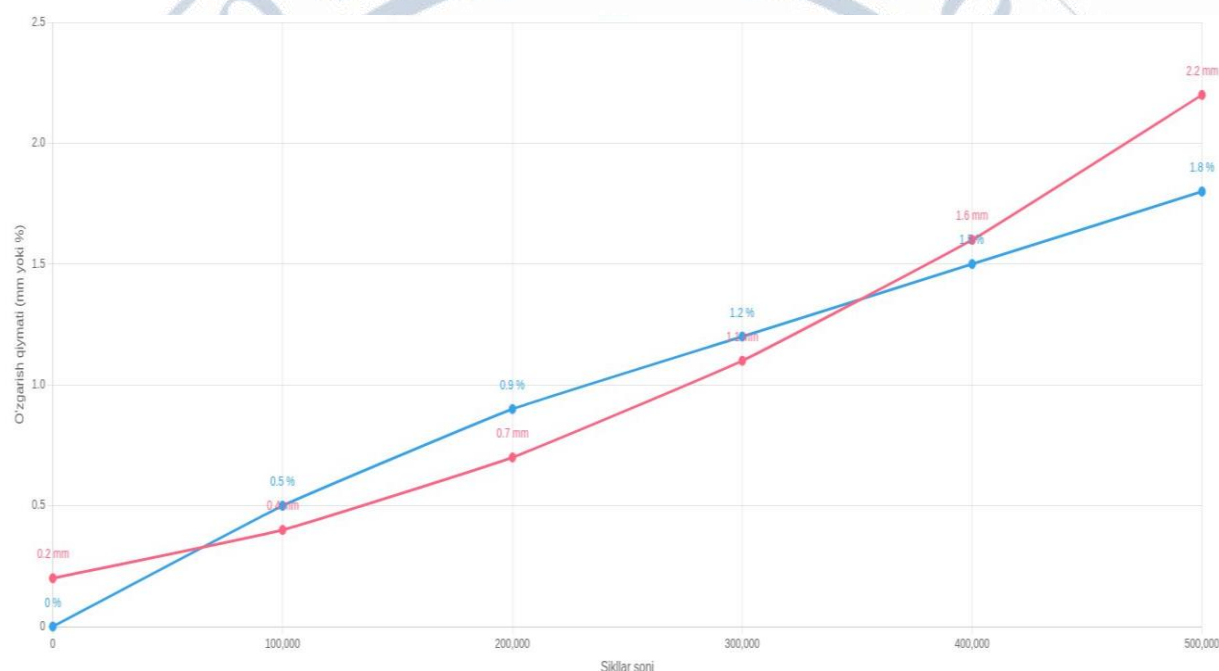
Tizimning reaksiya vaqti: Favqulodda vaziyatlarda haydovchining harakatiga tizimning qanchalik tez javob berishi hayotiy ahamiyatga ega. Tormoz richagi bosilgan paytdan boshlab avtomobil tormoz tizimida maksimal bosim hosil bo'lguncha o'tgan vaqt o'lchandi.

1-Jadval

Sinov turi	A tizimi (Mexanik)	B tizimi (Elektromexanik)	Standart pedal boshqaruvi
Reaksiya vaqti (ms)	280 ms	210 ms	180 ms
Standartga nisbatan farq	+100 ms	+30 ms	-

Tahlil: Jadvaldan ko'rinib turibdiki, har qanday qo'shimcha mexanizm reaksiya vaqtini standart pedal boshqaruviga nisbatan bir oz oshiradi. Biroq, **B tizimining** reaksiya vaqti standartga ancha yaqin va **A tizimidan** 70 ms (yoki 25%) tezroqdir. Bu farq elektromexanik tizimda signalning elektr tezligida uzatilishi bilan izohlanadi, mexanik tizimda esa richaglar va tortqilardagi bo'shliqlar (lyuft) va elastik deformatsiyalar vaqt yo'qotilishiga olib keladi.

Chidamlilik sinovi natijalari: Tizimlar 500,000 sikl (gaz-tormoz almashinuvi) yuklamasiga duchor qilindi, bu taxminan 5-7 yillik intensiv foydalanishga to'g'ri keladi.



Tahlil: 2-rasmda ko'rsatilganidek, **A tizimida** sharnirlar va bo'g'inlarning eskira borishi natijasida boshqaruv richagidagi bo'shliq (lyuft) 2.2 mm gacha ortgan. Bu boshqaruv aniqligining pasayishiga va haydovchi uchun noqulaylikka olib keladi. **B tizimida** esa asosiy yuklamani elektr motor va reduktor o'z zimmasiga olgani sababli, uning ko'rsatkichlari (reaksiya vaqti) deyarli o'zgarmagan (atigi 1.8% ga yomonlashgan). Bu B tizimining uzoq muddatli ishonchliligi ancha yuqori ekanligidan dalolat beradi, bu esa avtomobil tizimlarining ishonchliligi va xavfsizligini ta'minlash muhimligini ta'kidlaydi [18].

4.2. Yo'l sinovlari natijalari

Yo'l sinovlarida 5 nafar professional sinovchi va 10 nafar turli jismoniy imkoniyatlarga ega bo'lgan ko'ngilli (potentsial foydalanuvchilar) ishtirok etdi. Natijalar sub'yektiv baholash va ob'yektiv o'lchovlar asosida umumlashtirildi.

Jadval 2. Haydovchilar tomonidan subyektiv baholash (10 ballik tizimda)

Mezon	A tizimi (Mexanik)	B tizimi (Elektromexanik)	Izoh
Boshqaruv qulayligi	6.2	8.9	B tizimi kamroq kuch talab qilgani uchun yuqori baholandi.
O'rganish osonligi	8.5	8.1	Mexanik tizimning ishlashi biroz intuitivroq tuyuldi.
Shahar sharoitida boshqaruv	5.8	9.2	Tirbandlikda A tizimi qo'lni tez charchatdi.
Magistraldagi barqarorlik	7.1	8.5	B tizimi tezlikni silliqroq ushlab turish imkonini berdi.
Favqulodda tormozlanishdagi ishonch	6.5	9.0	B tizimining tezroq reaksiyasi haydovchilarda ko'proq ishonch uyg'otdi.
Umumiy baho	6.8	8.7	B tizimi umumiy hisobda aniq ustunlikka erishdi.

Obyektiv o'lchovlar: "To'siqni aylanib o'tish" manevri paytida avtomobilning traektoriyasi va barqarorligi tahlil qilindi. **B tizimi** o'rnatilgan avtomobil manevrni o'rtacha 5 km/soat yuqoriroq tezlikda xavfsiz bajara oldi. Bu B tizimining tezroq va aniqroq reaksiyasi haydovchiga avtomobilni yaxshiroq nazorat qilish imkonini berishi bilan izohlanadi.

Tahlil: Yo'l sinovlari stend sinovlarida olingan xulosalarni to'liq tasdiqladi. Garchi o'rganish bosqichida mexanik tizimning soddaligi ba'zi foydalanuvchilarga ma'qul kelgan bo'lsa-da, uzoq muddatli va murakkab sharoitlarda foydalanishda elektromexanik tizimning afzalliklari yaqqol namoyon bo'ldi. Ayniqsa, ergonomika (kamroq charchash) va faol xavfsizlik (tezroq reaksiya, yuqori aniqlik) borasida **B tizimi** o'zining ustunligini ko'rsatdi. Bu natijalar HMI dizaynida foydalanuvchi tajribasi va xavfsizlikni birinchi o'ringa qo'yish kerakligini yana bir bor isbotlaydi [5].

Umumiy tahlil shuni ko'rsatadiki, garchi mexanik tizimlar arzonroq va oddiyroq bo'lsa-da, ular zamonaviy xavfsizlik va ergonomika talablariga to'liq javob bera olmaydi. Elektromexanik va elektron tizimlar esa, to'g'ri loyihalashtirilgan va sinchkovlik bilan sinovdan o'tkazilgan taqdirda,

nogironligi bo'lgan haydovchilar uchun ancha yuqori darajadagi xavfsizlik, qulaylik va ishonchlilikni ta'minlay oladi.

5. Xulosa va takliflar

Ushbu tadqiqot ishi qayta jihozlangan avtomobillarning qo'l boshqaruvi qismlarini sinovdan o'tkazishning dolzarb muammosiga bag'ishlandi. O'tkazilgan tahlillar va taklif etilgan metodologiya asosida quyidagi asosiy xulosalarga kelindi:

1. Kompleks yondashuv zarurati: Qo'l boshqaruvi tizimlarining xavfsizligi va ishonchliligini ta'minlash uchun faqat yakuniy mahsulotni sinash yetarli emas. Laboratoriya (komponent), stend (tizim) va yo'l (avtomobil) sinovlarini o'z ichiga olgan ko'p bosqichli, kompleks sinov metodologiyasini qo'llash tizimning butun hayotiy sikli davomida yuzaga kelishi mumkin bo'lgan zaif nuqtalarni aniqlash va bartaraf etish imkonini beradi.

2. Elektromexanik tizimlarning ustunligi: O'tkazilgan qiyosiy tahlil shuni ko'rsatdiki, elektromexanik tizimlar an'anaviy mexanik tizimlarga qaraganda ergonomika, reaksiya tezligi, iqlimiy barqarorlik va uzoq muddatli ishonchlilik bo'yicha sezilarli ustunlikka ega. Ular haydovchidan kamroq jismoniy kuch talab qiladi va avtomobilning faol xavfsizlik tizimlari bilan samaraliroq integratsiyalashadi.

3. Inson omilining muhimligi: Sinov jarayonida nafaqat obyektiv texnik ko'rsatkichlarni o'lchash, balki bo'lajak foydalanuvchilarning subyektiv fikrlarini, ularning ehtiyojlari va jismoniy imkoniyatlarini hisobga olish ham muhim ahamiyatga ega. Foydalanuvchi-markazli dizayn (user-centered design) tamoyili tizimning real hayotda qulay va amaliy bo'lishini ta'minlaydi.

4. Standartlarning takomillashtirilishi: Mavjud avtomobil xavfsizligi standartlari ko'p hollarda uchinchi tomon tomonidan kiritiladigan modifikatsiyalarning o'ziga xos jihatlarni to'liq qamrab olmaydi. Qayta jihozlangan avtomobillar uchun qo'l boshqaruvi tizimlarining mexanik mustahkamligi, elektr xavfsizligi, dasturiy ta'minot ishonchliligi va nosozliklarga chidamliligi (fail-safety) bo'yicha maxsus me'yoriy talablarni ishlab chiqish va joriy etish zarur. Xavfsizlikni baholash usullari keng qamrovli bo'lishi va faqat yakuniy testlarga asoslanmasligi kerak [7].

Ushbu xulosalarga asosanib, quyidagi amaliy **takliflar** ishlab chiqildi:

Ishlab chiqaruvchilar va modifikatsiya markazlari uchun:

- Yangi qo'l boshqaruvi tizimlarini loyihalash va ishlab chiqarishda ushbu tadqiqotda taklif etilgan uch bosqichli sinov metodologiyasini joriy etish.
- Nosozlik holatida tizimning xavfsiz holatga o'tishini ta'minlovchi "fail-safe" mexanizmlari va imkoniyat darajasida takrorlovchi (redundant) tizimlarni loyihaga kiritishga alohida e'tibor qaratish.
- Loyiha-konstruktorlik ishlarining dastlabki bosqichlaridanoq potentsial foydalanuvchilar (nogironligi bo'lgan shaxslar) bilan hamkorlik qilish va ularning fikr-mulohazalarini inobatga olish.

Sertifikatlashtirish va nazorat organlari uchun:

- Qayta jihozlangan avtomobillar va ularning qo'l boshqaruvi qismlari uchun maxsus milliy standartlarni ("texnik reglament") ishlab chiqish. Ushbu standartlar xalqaro ISO va SAE normalariga tayanishi, ammo mahalliy sharoitlarni ham hisobga olishi kerak.
- Modifikatsiya qilingan avtomobillarni texnik ko'rikdan o'tkazishda qo'l boshqaruvi tizimining holatiga, jumladan, mexanik bo'shliqlarning mavjudligiga, elektr ulanishlarining ishonchliligiga va funksional ishlashiga alohida e'tibor qaratish tartibini joriy etish.

Kelajakdagi tadqiqotlar uchun yo'nalishlar:

- Qo'l boshqaruvi tizimlarini zamonaviy haydovchiga yordam berish tizimlari (ADAS) bilan integratsiyalashuvi va ularning o'zaro ta'sirini o'rganish. Masalan, adaptiv kruiz-kontrol yoki avtomatik tormozlash tizimi bilan qo'l boshqaruvining uyg'un ishlashi.
- Tizimning holatini real vaqtda monitoring qiluvchi va yuzaga kelishi mumkin bo'lgan nosozliklar haqida haydovchini oldindan ogohlantiruvchi o'z-o'zini diagnostika qilish tizimlarini ishlab chiqish.
- Turli xil qo'l boshqaruvi tizimlari uchun virtual sinov stendlari va kompyuter modellarini yaratish. Bu sinov jarayonini sezilarli darajada tezlashtiradi, xarajatlarni kamaytiradi va ko'plab ssenariylarni qisqa vaqt ichida tahlil qilish imkonini beradi [13].

Ushbu tadqiqot qayta jihozlangan avtomobillarning xavfsizligini oshirish yo'lidagi bir qadam bo'lib, bu sohadagi keyingi ilmiy izlanishlar va amaliy ishlanmalar uchun poydevor bo'lib xizmat qiladi degan umiddamiz. Zero, har bir insonning, jismoniy imkoniyatlaridan qat'i nazar, xavfsiz va erkin harakatlanish huquqini ta'minlash jamiyatning muhim vazifasidir.

Foydalanilgan adabiyotlar

- [1] M. Akamatsu, P. Green, and K. Bengler, "Automotive technology and human factors research: Past, present, and future," 2013. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1155/2013/526180>
- [2] J. Wishart, S. Como, U. Forgiione, and J. Weast..., "Literature review of verification and validation activities of automated driving systems," 2020. https://www.researchgate.net/profile/Jeffrey-Wishart/publication/349067126_Literature_Review_of_Verification_and_Validation_Activities_of_Automated_Driving_Systems/links/6022b3e0a6fdcc37a815b118/Literature-Review-of-Verification-and-Validation-Activities-of-Automated-Driving-Systems.pdf?origin=journalDetail&tp=eyJwYWdlIjoiam91cm5hbERldGFpbCJ9
- [3] N. Zaman, "Automotive electronics design fundamentals," Springer, 2015. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-319-17584-3.pdf>
- [4] R. Isermann, "Automotive Control," Springer, 2022. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-642-39440-9.pdf>

- [5] I. Grobelna, D. Mailland, and M. Horwat, "Design of Automotive HMI: New Challenges in Enhancing User Experience, Safety, and Security," *Applied Sciences*, 2025. <https://www.mdpi.com/2076-3417/15/10/5572>
- [6] F. Naujoks, K. Wiedemann, and N. Schömig..., "Towards guidelines and verification methods for automated vehicle HMIs," 2019. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1369847818301748>
- [7] Q. V. E. Hommes, "Assessment of safety standards for automotive electronic control systems," rosap.ntl.bts.gov, 2016. <https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/12302>
- [8] J. Quigley, "SAE International's Dictionary of Testing, Verification, and Validation," books.google.com, 2023. <https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=QTbhEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=modified+vehicle+hand+controls+testing+procedures.+automotive+hand+control+validation+methods.+vehicle+modification+safety+testing.+hand+control+system+reliability+testing&ots=RWMMKqnkEa&sig=UUscGLu-k4hSd662l5gHrW8rwyC>
- [9] V. Vitiello, A. Benazzi, and P. Trucillo, "Smart Card-Based Vehicle Ignition Systems: Security, Regulatory Compliance, Drug and Impairment Detection, Through Advanced Materials and ...," *Processes*, 2025. <https://www.mdpi.com/2227-9717/13/3/911>
- [10] S. McLachlan, M. Neil, K. Dube, and R. Bogani..., "Smart automotive technology adherence to the law:(de) constructing road rules for autonomous system development, verification and safety," 2021. <https://academic.oup.com/ijlit/article-abstract/29/4/255/6534108>
- [11] H. Noun, and C. Urban-Seelmann..., "Creation of Testing Processes for a Verification of Safety Relevant Vehicle Systems," 2023. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10381312/>
- [12] M. Krichen, "Formal methods and validation techniques for ensuring automotive systems security," *Information*, 2023. <https://www.mdpi.com/2078-2489/14/12/666>
- [13] H. Alghodhaifi, and S. Lakshmanan, "Autonomous vehicle evaluation: A comprehensive survey on modeling and simulation approaches," *Ieee Access*, 2021. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9605690/>
- [14] S. Kuutti, R. Bowden, Y. Jin, and P. Barber..., "A survey of deep learning applications to autonomous vehicle control," 2020. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8951131/>
- [15] A. SAIDU, "DEVELOPMENT OF ELECTRONIC BRAKING SYSTEMS TROUBLESHOOTING AND MAINTENANCE MANUAL FOR AUTOMOBILE CRAFTSMEN IN NIGERIA," irepo.futminna.edu.ng, 2023. <http://irepo.futminna.edu.ng:8080/jspui/handle/123456789/19468>
- [16] S. Riedmaier, T. Ponn, D. Ludwig, and B. Schick..., "Survey on scenario-based safety assessment of automated vehicles," 2020. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9090897/>

[17] D. Andronas, E. Kampourakis, and G. Papadopoulos..., "Towards seamless collaboration of humans and high-payload robots: an automotive case study," 2023.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0736584523000200>

[18] L. Yu, and R. Wang, "Researches on Adaptive Cruise Control system: A state of the art review," 2022.

<https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/09544070211019254>

