

Date: 5<sup>th</sup> April-2026

## ZAMONAVIY AVTOMOBILLARDA ELEKTRON BOSHQARUV TIZIMLARI (ECU)

Boltayev Dilmurod Ergash o'g'li

Sharof Rashidov tuman 3-son texnikumi o'qituvchisi

**Annotatsiya:** Ushbu maqolada zamonaviy avtomobillarda qo'llanilayotgan elektron boshqaruv tizimlari — ECUlarning vazifasi, ishlash tamoyili, tarmoqli arxitekturasi, ishonchlik va axborot xavfsizligi bilan bog'liq masalalar tahlil qilinadi. Mavzu texnik va amaliy nuqtai nazardan yoritilib, ECUning transport vositasi samaradorligi, xavfsizligi hamda diagnostika jarayonidagi o'rni asoslab beriladi.

**Kalit so'zlar:** ECU, elektron boshqaruv bloki, CAN-shina, sensor, aktuator, avtomobil elektronikasi, diagnostika, ishonchlik, kiberxavfsizlik

Zamonaviy avtomobilni endi faqat mexanik agregatlar yig'indisi sifatida tasavvur qilish qiyin. Bugungi transport vositasi ichida dvigatel, tormoz, transmissiya, rul boshqaruvchi, xavfsizlik, iqlim nazorati va hatto qulaylik funksiyalarini boshqaruvchi ko'plab elektron tugunlar o'zaro bog'langan holda ishlaydi. Avtomobil elektron tizimlari bo'yicha ilk yirik tahlillardan birida Akio Numazawa avtomobil elektronikasining rivoji transportni boshqarish, axborot qabul qilish va tizimlararo muvofiqlashtirish bilan tobora chuqur bog'lanib borishini ko'rsatgan edi [1, 627]. Bu fikr bugungi kun uchun yanada dolzarb: avtomobil harakati endi faqat haydovchining reaksiyasiga emas, balki real vaqt rejimida ma'lumot qayta ishlaydigan elektron boshqaruv zanjiriga ham tayanadi.

ECU — elektron boshqaruv bloki — mohiyatan avtomobil ichidagi kichik, lekin juda mas'uliyatli o'rnatilgan kompyuterdir. U sensorlardan signal qabul qiladi, ularni qayta ishlaydi va aktuatorlar orqali tizimga buyruq uzatadi [4, 9]. Shu jihatdan ECU ni oddiy "blok" deb emas, balki qaror chiqaruvchi markaz deb ko'rish to'g'riroq bo'ladi. Masalan, dvigatel boshqaruvida u yoqilg'i purkash vaqti, yonish jarayoni, havo-yoqilg'i nisbatini boshqaradi; tormoz tizimida esa g'ildirak aylanish tezligi va yo'l sharoitiga qarab barqarorlikni saqlashga xizmat qiladi. Demak, ECUning amaliy qiymati uning mavjudligida emas, balki turli tizimlardan kelgan signallarni yagona mantiq asosida birlashtira olishidadir. Shu sababli zamonaviy avtomobilda "raqamli boshqaruv" tushunchasi biror bitta modul bilan emas, o'zaro ishlaydigan ECUlar majmui bilan ifodalanadi.

Gabriel Leen va Donal Heffernan avtomobil elektron tizimlarining keskin kengayishi yangi muhandislik imkoniyatlari bilan birga jiddiy murakkabliklarni ham yuzaga keltirganini ta'kidlaydi [2, 88]. Ularning qayd etishicha, yuqori toifadagi avtomobillarda sim uzunligi bir necha kilometr gacha yetishi mumkin bo'lgan, shu bois eski nuqta-nuqta ulanish usuli samaradorligini yo'qota boshlagan [2, 88]. Mazkur holat amaliy nuqtai nazardan juda muhim: tizimlar ko'paygani sari ulanishlar soni ham ortadi, bu esa og'irlik, energiya sarfi, diagnostika qiyinligi va nosozlik ehtimolini oshiradi.



Date: 5<sup>th</sup> April-2026

Shuning uchun elektron boshqaruvning keyingi bosqichi faqat bloklar sonini ko'paytirish emas, balki ularni aqlli tarmoq ichida ishlatish zaruratidan kelib chiqdi.

Aynan shu ehtiyoj avtomobil ichki aloqa protokollarining keng qo'llanishiga yo'l ochdi. Leen va Heffernan CAN tarmog'ini eng keng tarqalgan avtomobil tarmoqlaridan biri sifatida tasvirlaydi hamda uning qulaylik tizimlari bilan bir qatorda dvigatel boshqaruvi, ABS va kruiz nazorati kabi muhim funksiyalarni ham bog'lashdagi o'rni ko'rsatadi [2, 89]. Bu yerda e'tiborli jihat shuki, ECULAR yakka holda mukammal ishlasa ham, ular o'zaro ma'lumot almashmasa, avtomobil yagona boshqaruv muhitiga aylana olmaydi. Masalan, tormoz tizimi, dvigatel boshqaruvi va tortish kuchini nazorat qiluvchi tizim bir-biridan uzilgan bo'lsa, xavfsizlik funksiyasi parchalanib qoladi. Tarmoqlashuv esa bu tizimlarni bir butun mexanizmga aylantiradi. Shunday ekan, zamonaviy avtomobilda ECUNING kuchi faqat protsessor quvvatida emas, balki tarmoq ichidagi o'rnida ham namoyon bo'ladi.

Matthias Klauda va Ulrich Lauff zamonaviy avtomobillarda elektron funksiyalar soni va murakkabligi izchil ortib borayotganini, o'rta toifadagi avtomobillarning o'zida ham o'nlab elektron boshqaruv bloklari o'zaro ma'lumot almashishini qayd etadi [5, 10]. Ular ECU dasturiy ta'minoti endi bir martalik yechim emas, balki uzoq muddat yangilanadigan, turli model va variantlarga moslashtiriladigan tizimga aylanib borayotganini ham ta'kidlaydi [5, 10–12]. Bu xulosa ishlab chiqarish amaliyoti uchun juda ahamiyatli: ilgari avtomobilning asosiy farqi mexanik tuzilishda bo'lgan bo'lsa, bugungi kunda raqobatning katta qismi dasturiy boshqaruv sifati, moslashuvchanligi va integratsiyasida namoyon bo'lmoqda. Shuning uchun ECUNING o'rganishda faqat sxema yoki mikrokontroller emas, balki dasturiy arxitektura, modul tuzilishi va standartlashuv masalalarini ham ko'rish zarur.

ECUNING samaradorligi, albatta, faqat funksional qulaylik bilan o'lchanmaydi. Ishonchlilik masalasi bu tizimning eng nozik tomonlaridan biridir. Bernhard Pauli va Arno Meyna real ekspluatatsiya ma'lumotlari asosida ECU nosozliklarini tahlil qilishda zamonaviy statistik yondashuvlar zarurligini ko'rsatadi [3, 1]. Ularning ishidan chiqadigan muhim xulosa shuki, avtomobil ichidagi elektron boshqaruv kengaygani sari nosozlikni oddiy "detal buzildi" darajasida baholash yetarli bo'lmay qoladi; endi nosozlikning ehtimoliy davri, ishlash muhiti, yuklama xarakteri va vaqt omilini ham hisobga olish kerak bo'ladi [3, 1]. Bu ayniqsa texnik xizmat ko'rsatishda muhim: ECU bilan bog'liq muammo ko'pincha tashqi simptom bilan emas, tizim ichidagi algoritmik yoki aloqa uzilishi bilan namoyon bo'ladi. Shu sababli zamonaviy diagnostika ham mexanik tekshiruvdan ko'ra ko'proq ma'lumotlarni talqin qilishga tayanadi.

Mavzuning yana bir dolzarb tomoni — axborot xavfsizligi. Md Swawibe Ul Alam tadqiqotida avtomobilga yangi elektron imkoniyatlar kiritilgani sari turli ECULAR ko'p sonli aloqa shinasini orqali bog'lanishi, shu sabab biror blok buzilsa yoki zararli tarzda egallansa, boshqa muhim bloklar ma'lumotiga ham ta'sir o'tkazish ehtimoli paydo bo'lishi ta'kidlanadi [4, 1]. Bu fikrni texnik nuqtai nazardan davom ettirsak, masala endi faqat "mashina yuradimi-yo'qmi" savolida emas; masala boshqaruv signallari qanchalik ishonchli, o'zgarimas va himoyalangan uzatilishidadir. ECULAR o'rtasida uzatilayotgan



Date: 5<sup>th</sup> April-2026

ma'lumotning yaxlitligi buzilsa, noto'g'ri buyruq noto'g'ri vaqtda bajarilishi mumkin. Demak, zamonaviy avtomobil elektronikasi uchun kiberxavfsizlik qo'shimcha mavzu emas, balki funksional xavfsizlikning davomidir.

Shu nuqtada ECUlarga bir oz kengroq nazar bilan qarash kerak bo'ladi. Bir tomondan, ular yoqilg'i tejamkorligini, ekologik me'yorlarga moslikni, haydovchi qulayligini va faol xavfsizlikni oshiradi. Ikkinchi tomondan esa, tizimlar soni ortgani sayin bog'liqlik kuchayadi, dasturiy qatlam kengayadi, nosozlikni aniqlash qiyinlashadi va xavfsizlik tahdidlari ko'payadi. Mening nazarimda, zamonaviy avtomobilning haqiqiy sifati aynan shu ikki qutb orasidagi muvozanatda ko'rinadi: imkoniyatlar qanchalik ko'paysa, boshqaruv shunchalik sodda, barqaror va himoyalangan bo'lishi kerak. Shunday muvozanat bo'lmasa, texnologik boylik amaliy foydadan ko'ra ortiqcha murakkablikka aylanib qolishi mumkin.

Ayniqsa texnikum ta'limi nuqtai nazaridan bu mavzu juda dolzarb. Chunki kelajak avtomexanik yoki diagnost mutaxassis endi faqat mexanik uzelni emas, elektron boshqaruv mantig'ini ham tushunishi kerak bo'ladi. ECU bilan ishlash uchun sensor, signal, xatolik kodi, tarmoq protokoli, dasturiy kalibrovka va diagnostika mantiqini birgalikda anglash talab etiladi. Boshqacha aytganda, zamonaviy transport vositasi bo'yicha mutaxassis tayyorlashda "temirni bilish"ning o'zi kam, "raqamli boshqaruvni o'qiy olish" ham zarur ko'nikmaga aylangan.

ECUlarning rivojlanishida eng muhim burilish nuqtasi ularning alohida ishlovchi blokdan o'zaro bog'langan boshqaruv tugunlari tizimiga aylanganidadir. Navet va hammualliflar avtomobil elektronikasi 1970-yillardan boshlab jadal murakkablashganini, zamonaviy yuqori toifadagi avtomobillarda minglab signallar o'nlab ECUlar orasida almashinishini qayd etadi. Ularning tahliliga ko'ra, avvalgi nuqta-nuqta ulanish usuli og'irlik, narx, murakkablik va ishonchlilik bilan bog'liq muammolar sabab yetarli bo'lmay qolgan [1, 1204]. Shu jihatdan qaraganda, ECU endi oddiy ijrochi modul emas, balki umumiy boshqaruv mantiqining tarmoqdagi bo'lagi sifatida namoyon bo'ladi. Bitta blokda xato endi faqat o'sha blokning emas, unga bog'langan funksional zanjirning ishlashiga ta'sir qilishi mumkin.

Leen va Heffernan avtomobil elektron tizimlari kengaygani sari simlar massasi, energiya sarfi va loyiha murakkabligi oshganini ko'rsatadi. Ular yuqori toifadagi avtomobillarda sim uzunligi 4 kilometrdan oshishi mumkinligini, aynan shu bosim avtomobil ichki tarmoqlarining keng qo'llanishiga turtki berganini ta'kidlaydi [2, 88]. Mazkur fikrni davom ettirsak, CAN shina va unga o'xshash tarmoqlar avtomobilning "raqamli skeleti"ga aylangan. Chunki tormoz, dvigatel, barqarorlik, komfort va diagnostika tizimlari endi parallel emas, balki bog'langan holda ishlaydi. Bunday integratsiya avtomobilni aqlliyoq qiladi, lekin shu bilan birga servis va nosozliklarni talqin qilishni ham murakkablashtiradi.

Zamonaviy ECUlar uchun faqat apparat kuchi yetarli emas, ularning dasturiy intizomi ham hal qiluvchi omilga aylangan. NHTSAning tahliliy hisobotida avtomobil elektron boshqaruv tizimlari xavfsizligi va ishonchliligini baholashda ISO 26262, AUTOSAR va MISRA C kabi standartlarning o'rni alohida ko'rsatiladi [3, 2]. Bu juda



Date: 5<sup>th</sup> April-2026

muhim nuqta: ECU ni ishlab chiqish bugun faqat sxema chizish yoki mikrokontroller tanlash bilan tugamaydi. Uni loyihalash, kodlash, sinash, audit qilish va xavf tahlili asosida tekshirish zarur bo'ladi. Menimcha, aynan shu yerda zamonaviy avtomobilsozlikning mohiyati ko'rinadi: mexanik mahsulot asta-sekin dasturiy boshqariladigan muhandislik ekotizimiga aylanmoqda.

ECUlar bilan bog'liq muammolarda ishonchlilik masalasi alohida o'rin tutadi. Knight, Eaton va Whitehead tadqiqotida elektron boshqaruvli tizimlar bo'yicha yetarli xizmat ma'lumotlari bo'lmasa ham, yo'l ekspluatatsiyasidagi nosozliklarni tizimli o'rganish zarurligi ta'kidlangan [4, 7]. Ular shuni ham ko'rsatadiki, elektron komponentlar ko'pincha shu tizim ichidagi mexanik qismlarga qaraganda kamroq ishdan chiqadi, biroq xavfsizlikka daxldor tizimlardagi nosozliklar baribir jiddiy e'tibor talab qiladi [4, 67]. Demak, "elektronika ishonchliroq" degan umumiy qarash mutlaq xulosa emas. Chunki ABS, airbag, engine control yoki steering bilan bog'liq kam sonli xatolik ham amaliy jihatdan katta oqibat keltirib chiqarishi mumkin. Shu sabab zamonaviy texnik xizmat ko'rsatishda fault code, sensor javobi va tarmoq signalini birgalikda ko'ra olish muhim professional ko'nikmaga aylanadi.

Knight va hammualliflar hisobotida xavfsizlikka aloqador taxminiy nosozliklar orasida ABS va airbag bilan bog'liq holatlar sezilarli ko'lamda uchrashi ko'rsatilgan [4, 55]. Bu raqamlarning o'ziyoq elektron boshqaruv tizimini faqat qulaylik vositasi deb emas, xavfsizlik infratuzilmasining bir qismi sifatida ko'rish kerakligini anglatadi. Menimcha, shu nuqtai nazardan ECUning haqiqiy bahosi uning nechta funksiyani boshqarishida emas, balki nosozlik yuz berganda tizimni qanchalik barqaror va nazorat ostida ushlab tura olishidadir. Ayniqsa kelajakda avtomatlashtirish darajasi oshgani sayin, "xato bo'lsa ham xavfsiz ishlash" tamoyili avtomobil elektroni kasining markaziy mezoniga aylanadi.

Mavzuning yana bir nozik tomoni — kiberxavfsizlikdir. Avatefipour va Malik CAN-Bus avtomobil ichki aloqa uchun de-fakto standart bo'lsa-da, u loyihalanishida autentifikatsiya kabi bazaviy xavfsizlik mexanizmlariga ega emasligini ko'rsatadi [5, 1]. Ular zamonaviy transport vositalari Bluetooth, GPS va boshqa tashqi interfeyslar bilan bog'lana boshlagani sababli hujum yuzasi kengayib borayotganini ham qayd etadi [5, 1; 5, 5]. Bu masala nazariy emas. Agar boshqaruv tarmog'idagi ishonch zanjiri buzilsa, ECUlar o'rtasidagi xabar almashinuvi noto'g'ri buyruqlarni keltirib chiqarishi mumkin. Shu bois bugungi avtomobil ustasi yoki muhandisi faqat elektr signalini emas, signalning himoyalanganligini ham tushunishi kerak.

**Tahlil.** Zamonaviy avtomobillarda ECUlar sonining ortishi ikki xil natija berdi. Bir tomondan, dvigatel samaradorligi oshdi, xavfsizlik funksiyalari kuchaydi, haydovchi va yo'lovchi uchun qulaylik sezilarli yaxshilandi. Ikkinchi tomondan, avtomobil ichki tuzilishi ko'zga ko'rinmaydigan darajada murakkablashdi. Endi ustaxonadagi diagnostika ham eski ma'nodagi "detal almashtirish" bilan cheklanmaydi; unda tizimlararo bog'lanish, dasturiy mantiq, signal yo'li va xatolik tarixini birgalikda o'qish talab etiladi. Shu sabab texnikumlarda avtomobil tuzilishini o'qitishda klassik mexanika bilan bir qatorda sensorlar, CAN tarmog'i, ECU arxitekturasi, diagnostika kodlari va funksional xavfsizlik bo'yicha alohida amaliy mashg'ulotlar bo'lishi maqsadga muvofiq deb hisoblayman.



Date: 5<sup>th</sup> April-2026

Bunday yondashuv bitiruvchini eskirayotgan servis modeli emas, zamonaviy raqamli transport tizimi uchun tayyorlaydi.

**Xulosa.** Zamonaviy avtomobillarda elektron boshqaruv tizimlari avtomobilning yordamchi qismi emas, uning asosiy boshqaruv yadrosiga aylangan. ECUlar dvigatel, tormoz, transmissiya, komfort va xavfsizlik tizimlarini yagona mantiq asosida birlashtiradi. Ularning afzalligi aniqlik, tezkorlik va moslashuvchanlikda bo'lsa, asosiy muammolari murakkablik, servis qiyinligi va kiberxavfsizlik talablarining kuchayishida namoyon bo'ladi. Shuning uchun ECUlarni o'rganish mexanika, elektronika va dasturiy boshqaruv kesishgan nuqtani tushunishni talab qiladi. Aynan shu integrallashgan yondashuv kelajak avtomobil mutaxassisini tayyorlashda eng muhim metodik yo'nalishlardan biri bo'lib qoladi.

#### **FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:**

1. Navet N., Song Y., Simonot-Lion F., Wilwert C. Trends in Automotive Communication Systems // Proceedings of the IEEE. 2005. Vol. 93, No. 6. P. 1204–1223. DOI: 10.1109/JPROC.2005.849725.
2. Leen G., Heffernan D. Expanding automotive electronic systems // Computer. 2002. Vol. 35, No. 1. P. 88–93. DOI: 10.1109/2.976923.
3. Van Eikema Hommes Q. D. Assessment of Safety Standards for Automotive Electronic Control Systems. Report No. DOT HS 812 285. Washington, DC: National Highway Traffic Safety Administration, 2016. 49 p.
4. Knight I., Eaton A., Whitehead D. The Reliability of Electronically Controlled Systems on Vehicles. Project Report PR/SE/101/00. Prepared for CITA Working Group 7. TRL Limited, 2000. 74 p.
5. Avatefipour O., Malik H. State-of-the-Art Survey on In-Vehicle Network Communication (“CAN-Bus”) Security and Vulnerabilities // arXiv preprint. 2018. arXiv:1802.01725. 8 p.

