

**TOSHKENT DAVLAT TRANSPORT UNIVERSITETI HUZURIDAGI
ILMIY DARAJALAR BERUVCHI DSc.15/31.08.2022.T.73.03 RAQAMLI
ILMIY KENGASH**

TOSHKENT SHAHRIDAGI TURIN POLITEXNIKA UNIVERSITETI

TO‘YCHIYEV OLIMJON ALIJONOVICH

**YENGIL AVTOMOBIL YURITMASINI TYUNINGLI
GIBRIDLASHTIRISH METODOLOGIYASI**

05.08.06 – G‘ildirakli va gusenitsali mashinalar va ularni ishlatish

**TEXNIKA FANLARI DOKTORI (DSc)
DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI**

Toshkent – 2023

Texnika fanlari doktori (DSc) dissertatsiyasi avtoreferati mundarijasi
Оглавление автореферата диссертации доктора наук (DSc) по
техническим наукам
Contents of dissertation abstract of Doctor of Science (DSc)
on technical sciences

To‘uchiyev Olimjon Alijonovich

Yengil avtomobil yuritmasini tyuningli gibridlashtirish metodologiyasi..... 3

Туйчиев Олимжон Алижонович

Методология тюнинговой гибридизации привода легкового автомобиля..... 27

Tuychiev Olimjon Alijonovich

Methodology for tuning hybridization of a passenger car drive..... 53

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ

List of published works 56

**TOSHKENT DAVLAT TRANSPORT UNIVERSITETI HUZURIDAGI
ILMIY DARAJALAR BERUVCHI DSc.15/31.08.2022.T.73.03 RAQAMLI
ILMIY KENGASH**

TOSHKENT SHAHRIDAGI TURIN POLITEXNIKA UNIVERSITETI

TO‘YCHIYEV OLIMJON ALIJONOVICH

**YENGIL AVTOMOBIL YURITMASINI TYUNINGLI
GIBRIDLASHTIRISH METODOLOGIYASI**

05.08.06 – G‘ildirakli va gusenitsali mashinalar va ularni ishlatish

**TEXNIKA FANLARI DOKTORI (DSc)
DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI**

Toshkent – 2023

Texnika fanlari doktori (DSc) dissertatsiyasi mavzusi O‘zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2023.4.DSc/T687 raqam bilan ro‘yxatga olingan.

Dissertatsiya Toshkent shahridagi Turin politexnika universitetida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o‘zbek, rus, ingliz (rezyume)) Ilmiy kengash veb-sahifasi (<https://tstu.uz/>) va «ZiyoNet» Axborot-ta’lim portalida (www.ziynet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy maslahatchi:

Muxitdinov Akmal Anvarovich
texnika fanlari doktori, professor

Rasmiy opponentlar:

Qodirov Sarvar Muqaddirovich,
texnika fanlari doktori, professor

Salomov O‘ktam Rahimovich,
texnika fanlari doktori, professor

Gianfranco Rizzo (Italiya),
texnika fanlari doktori, professor

Yetakchi tashkilot:

Andijon mashinasozlik instituti

Dissertatsiya himoyasi Toshkent davlat transport universiteti huzuridagi DSc.15/31.08.2022.T.73.03 raqamli ilmiy kengashi kengashning 2024 yil “20” yanvar soat 11⁰⁰ dagi majlisda bo‘lib o‘tadi (Manzil: 100167, Toshkent, Temiryo‘lchilar ko‘chasi, 1-uy.

Tel.: (99871) 299-00-01, faks: 71-293-57-54, e-mail: rektorat@tstu.uz, tashiit@exat.uz).

Dissertatsiya bilan Toshkent davlat transport universiteti Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (___raqam bilan ro‘yxatga olingan). (Manzil: 100167, Toshkent, Temiryo‘lchilar ko‘chasi, 1.

Tel.: (99871) 299-00-01, faks: 71-293-57-54, e-mail: rektorat@tstu.uz, tashiit@exat.uz).

Dissertatsiya avtoreferati 2023 yil “___” _____ kuni tarqatildi.

(2023 yil “___” _____ dagi _____ raqamli reestr bayonnomasi).

A.A.Riskulov

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

K.Z.Ziyayev

Ilmiy darajalar beruvchi
Ilmiy kengash kotibi, PhD, dotsent

G.A.Samatov

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

KIRISH (doktorlik dissertatsiyasi (DSc) annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Jahonda avtomobil sanoatida, avtotransport vositalaridan foydalanishda energiya resurslarini tejash, bu orqali atmosferaga ajralayotgan issiqxona gazlari miqdorini kamaytirish avtomobilsozlik sanoatining iqtisodiy va ekologik jihatdan rivojlanishi uchun muhim omil sanaladi. Foydalanishdagi avtotransport vositalari yo‘qilg‘i moylash mahsulotlarining asosiy iste‘molchisi bo‘lib, dunyoda ajralib chiqayotgan issiqxona gazlarining 50–70% qismi ular hissasiga to‘g‘ri keladi. Shundan kelib chiqib, jahon avtomobilsozlik sanoati ishlab chiqarilayotgan va rejalashtirilayotgan yangi avlod avtomobillaridan minimal darajada CO₂ gazlari ajralishini ta‘minlashga intilmoqda, shuningdek, bugun Yevropa davlatlarining aksariyati 2030-yilga qadar avtomobil vositalaridan chiqayotgan CO₂ gazlarini kamida 2 barobarga kamaytirish ta‘minlashga katta e‘tibor qaratmoqda¹.

Bugungi kunda dunyoda avtomobilsozlik sohasidagi yirik kompaniyalar yoqilg‘i tanqisligi va narxining oshib borishi natijasida loyihalashda elektr va gibril yuritmalarini qo‘llash usullarini yanada chuqurroq tadqiq etishga alohida ahamiyat bermoqda. Bu borada P5 sxemaga ega bo‘lgan gibril yuritmalil avtomobilda quvvat ichki yonuv dvigateli va elektr dvigatelidan alohida yo‘nalishlar orqali yetakchi g‘ildiraklarga berilishi eng samarali usullardan ekanligi katta ahamiyatga ega. Shu jihatdan yuqori yonilg‘i samaradorlikka erishish uchun avtomobil gibril yuritmasi parametrlari va boshqaruv rejimlarini, ma‘lum bir toifadagi foydalanishdagi avtomobillar va ularning harakat rejimlariga qo‘yiladigan talablarga qarab tanlash usullarini ishlab chiqish, nazariy va amaliy tadqiqotlarning asosiy zarur masalalaridan hisoblanmoqda.

Mamlakatimizda hozirda tabiiy xomashyolardan foydalanishda energiya samaradorligini oshirish uchun energiya tejamkor transportlardan foydalanishga qaratilgan keng ko‘lamli chora-tadbirlar amalga oshirilmoqda. Jumladan, 2022–2026-yillarga mo‘ljallangan Yangi O‘zbekistonning taraqqiyot strategiyasida “Iqtisodiyotni elektr energiyasi bilan uzluksiz ta‘minlash hamda “Yashil iqtisodiyot” texnologiyalarini barcha sohalarga faol joriy etish, iqtisodiyotning energiya samaradorligini 20 foizga oshirish”² masalalari alohida belgilab berilgan. Shu munosabat bilan, sanoat tarmoqlarida yo‘qotishlarni kamaytirish va resurslarni ishlatish samaradorligini oshirish, elektromobillar ishlab chiqarish va ulardan foydalanish bo‘yicha choralar ko‘rish, iqtisodiyot tarmoqlarining havoga chiqaradigan zararli gazlar hajmini bir birlik yalpi ichki mahsulot hisobida 10 foizga qisqartirish, avtomobil gibril yuritmasi manbalari o‘rtasida harakat uchun zaruriy momentni taqsimlash orqali eng kam yonilg‘i sarfini ta‘minlaydigan yuritma boshqaruv rejimlarini tanlash usulini ishlab chiqish va yonilg‘i-tejamkorlik xususiyatlarini yaxshilash bo‘yicha avtomobilning gibril yuritmasi parametrlarini tanlash, shuningdek, gibril yuritmaga ega avtomobilning yonilg‘i va energiya sarfini

¹ Robert Bosch GMBH, Bosch Automotive Handbook, 10th Edition, 2018. – 1750 pp, ISBN: 978-1-119-53081-7.

²O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi PF-60-sonli “O‘zbekiston Respublikasini yanada rivojlantirish bo‘yicha taraqqiyot strategiyasi to‘g‘risida”gi Farmoni //O‘zbekiston Respublikasi qonun hujjatlari to‘plami, 06/22/60/0082-son, 24-maqсад.

hisoblashda imitatsion modellardan foydalanish usullarini takomillashtirish masalalari sohadagi ilm-fan uchun muhim ahamiyat kasb etadi.

O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2018-yil 6-martdagi PQ-3589-son “Iqtisodiyot tarmoqlari va ijtimoiy sohada energiya samaradorligini yanada oshirish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi avtomobil transportini boshqarish tizimi”, 2019-yil 4-oktabrdagi PQ-4477-son “2019–2030-yillarda O‘zbekiston Respublikasining “yashil” iqtisodiyotga o‘tish strategiyasini tasdiqlash to‘g‘risida”gi, 2022-yil 19-dekabrda “Elektromobillar ishlab chiqarishni tashkil etishni davlat tomonidan qo‘llab-quvvatlash chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi PQ-443-son Qarorlari va boshqa normativ-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishda ushbu dissertatsiya tadqiqoti muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo‘nalishlariga mosligi. Mazkur tadqiqot O‘zbekiston Respublikasi fan va texnologiyalar rivojlanishining III. “Energetika, energiya va resurs tejamkorlik, transport, mashina va asbobsozlik” ustuvor yo‘nalishi doirasida bajarilgan.

Dissertatsiya mavzusi bo‘yicha xorijiy ilmiy tadqiqotlar sharhi³. Avtomobil yonilg‘i-tejamkorlik va tortish-tezlik xususiyatlarini yaxshilash maqsadida avtomobil gibrid yuritmasi parametrlari va boshqaruv rejimlarini tanlash bo‘yicha keng qamrovli nazariy va amaliy tadqiqotlar jahonning yetakchi universitetlari va ilmiy laboratoriyalarida, jumladan, Salerno universiteti (Italiya), Toronto universiteti (Kanada), Shanxay Jiaotong universiteti (Xitoy), Gongkong Shatin Xitoy universiteti (Xitoy), Missisipi davlat universiteti Ilg‘or yuritma tizimlari markazi (AQSH), Turin politexnika universiteti (Italiya), Sannio unversiteti (Italiya), Oukland universiteti (AQSh), Myunxen texnika universiteti, Braunshveyg texnika universiteti (Germaniya), Uxan universiteti elektr muhandislik maktabi (Xitoy), Tehron universiteti (Eron), Kampinas universiteti (Braziliya) va boshqalarda amalga oshirilmoqda.

Avtomobil gibrid yuritmasi parametrlari va ish rejimlarini tanlash bo‘yicha dunyo miqyosida, jumladan, quyidagi muhim ilmiy natijalar olingan: avtomobillarda gibrid yuritmalarni qo‘llash, ularning boshqaruv rejimi sifatida mantiqiy qoidalarga asoslangan rejimlardan foydalanib, avtomobil gibrid yuritmasi parametrlarini tanlash usullari ishlab chiqilgan (Texas qishloq xo‘jalik va mexanika universiteti, AQSh); turli konfiguratsiyali gibrid yuritmalari avtomobillarning harakat modellarini ishlab chiqib, ularda dinamik dasturlashga asoslangan boshqaruv rejimlarini qo‘llash imkoniyatlarini ko‘rib chiqilgan (Syurixdagi Shveysariya oliy texnika maktabi, Shveysariya); Pontryagin minimum prinsipidan foydalangan boshqaruv rejimlari ishlab chiqilgan (Ohayo va Stendford universitetlari, AQSh); gibrid yuritmasi konfiguratsiyasining avtomobil energo-ekologik ko‘rsatkichlariga ta’siri o‘rganilgan va avtomobil dinamik va yonilg‘i-tejamkorlik xususiyatlari yaxshilanishini ta’minlaydigan, ikki ilishish muftali transmissiyaning konstruktiv yechimi ishlab chiqilgan (Braunshveyg texnika universiteti, Germaniya).

Muammoning o‘rganilganlik darajasi. Avtomobil gibrid yuritmasini

³www.tamu.edu, www.ethz.ch, www.polito.it, www.stanford.edu, www.tum.de, www.tu-braunschweig.de, www.anl.gov, avt.inl.gov, www.osu.edu, www.clemson.edu, www.polimi.it, www.kth.se, www.chalmers.se

loyihalash, ularning ish rejimlarini takomillashtirish hamda parametrlarini tanlashda bir qator taniqli xorijiy olimlar katta hissa qo‘shganlar. Jumladan, M. Ehsani, A.Emadi, Liu K, Z. Rahman, L. Guzzella, Noshirwan K, G. Rizzo, F.Tiano, S.Onori, N. Amati, T. Hofman, F. Kucukay, A. Sciarretta, O Sundström va boshqalar.

Respublikamizda dvigatel va avtomobilning tortish-tezlik va yonilg‘i-tejamkorlik xususiyatlarining turli ish sharoitlari, yonilg‘i, transmissiya va mexatron boshqaruv bloklari tadqiqotlari bilan taniqli olimlardan S.M. Qodirov, Sh.P.Alimuxamedov, B.I. Bazarov, J.R. Qulmuxamedov, A.A. Muxitdinov, J.Sh. Inoyatxodjaev, S.Ro‘zimov va boshqalar shug‘ullanishgan. Olib borilgan ilmiy tadqiqotlar natijasida issiq va quruq iqlim sharoitlarida turli dvigatellarga ega avtomobillarning eksplutatsion ko‘rsatkichlarini yaxshilash, eng yuqori tezlanish va yonilg‘i-tejamkorlik xususiyatlarini ta‘minlash maqsadida dvigatel va pog‘onasiz transmissiyani muvofiqlashtirilgan holda boshqarish, dvigatel mexatron boshqaruv tizimlarida neyron tarmoqlardan foydalangan holda yonilg‘i-tejamkorlik xususiyatlarini yaxshilashga erishildi.

Ushbu tadqiqotlarda avtomobilning yuqoridagi xususiyatlarini yaxshilash yo‘llari va usullarini batafsil o‘rganilgan bo‘lsa-da, foydalanishdagi avtomashinalarda minimal o‘zgarishlar hisobigaa tyuningli gibridlashtirish jarayonlarining nazariy asoslari va metodikasi tadqiq qilinmagan. Shuningdek, avtomobilning tyuningli gibrid yuritmasi parametrlari va boshqaruv rejimlarini tanlashning ilmiy asoslari yetarli darajada o‘rganilmagan.

Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan oliy ta‘lim muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari bilan bog‘liqligi. Dissertatsiya tadqiqoti alohida qismlari, dissertant mas‘ul ijrochi vazifasini bajargan ilmiy-tadqiqot ishlari: 18.11 “Avtomobilida gibrid yuritmani qo‘llash orqali energiyani tejash va atrof-muhit muhofozasi” (2003–2005), A-13-068 “Yonilg‘i tejamkorligi va ekologik xavfsizligi bo‘yicha avtomobil perspektiv konstruksiyasining parametr va boshqaruv rejimlarini tanlashning ilmiy asoslari” (2006–2008) mavzularidagi loyihalar doirasida bajarilgan.

Tadqiqotning maqsadi ikkilamchi bozor avtomobilining yonilg‘i samaradorligi va ekologik xavfsizligini oshirish uchun gibridizatsiya parametrlari va boshqaruv rejimlarini tanlashning ilmiy asoslarini ishlab chiqishdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari:

yuritmani gibridlashtirish samaradorligini baholash mezonlarini asoslash;
baholash mezonlari ko‘rsatkichlarini yaxshilash bo‘yicha tyuning gibrid yuritmasi parametrlarini tanlashning energetik tahlil metodini ishlab chiqish;

P5 konfiguratsiyali gibrid yuritmal avtomobilning energiya samaradorligini baholash hisob dasturini ishlab chiqish;

tyuning gibrid yuritmal avtomobil boshqaruv qonuniyatlarini tanlash metodini ishlab chiqish;

P5 konfiguratsiyali gibrid yuritmal avtomobil imitatsion modelining yonilg‘i va energiya sarflari hisobi usuli ishonchliligini eksperimental baholash;

tyuning avtomobil gibrid yuritmasi parametrlari va boshqaruv rejimlarini tanlash bo‘yicha tavsiyalar ishlab chiqish.

Tadqiqotning obyekti – parallel konfiguratsiyali (P5) gibrid yuritmaga ega

yengil avtomobil.

Tadqiqotning predmetini gibrid yuritmalı tyuning avtomobil parametrlari va boshqaruv rejimlari tashkil etadi.

Tadqiqotning usullari. Tadqiqot jarayonida avtomobil dinamikasi va yonilg'i tejamkorligi hisobi, ko'p o'zgaruvchili optimizatsion, regression tahlil, matematik statistika va imitatsion modellashtirish usullari qo'llanilgan.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

avtomobilning tortish-tezlik va energo-ekologik ko'rsatkichlari tyuning gibrid yuritmasidan foydalanish orqali takomillashtirilgan;

mavjud avtomobil yuritmasini tyuning gibrid yuritmasi bilan o'zaro muvofiqlashtiruvchi boshqaruv qonuniyatlarini tanlash uslubi ishlab chiqilgan;

yuqori yonilg'i samaradorlikka erishish uchun avtomobil gibrid yuritmasi komponentlari quvvat ko'rsatkichlarini tanlash orqali yuritma parametrlarini tanlash uslubi ishlab chiqilgan;

avtomobil tyuning P5 konfiguratsiyali gibrid yuritmasi parametrlari va boshqaruv qonuniyatlari yuritma energiya samaradorligini baholash hisob dasturi yordamida takomillashtirilgan;

tyuning gibrid yuritmalı avtomobil hisob dasturi ishonchliligi, uni avtomobil va yuritma qismlarining dinamometrik stend natijalari bilan qiyoslash orqali asoslangan;

mavjud avtomobil yuritmasini P5 gibrid yuritmasiga aylantirishning texnik-iqtisodiy samaradorligini yuritma parametrlarini tanlash orqali oshirish bo'yicha tavsiyalar ishlab chiqilgan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

eng kam yonilg'i sarfiga erishishni ta'minlaydigan avtomobil gibrid yuritmasi parametrlari va boshqaruv rejimlarini tyuning jarayonida tanlash uslubi asoslangan;

me'yoriy sikllarda avtomobil harakati uchun zarur bo'ladigan energiyani hisoblash orqali gibrid yuritma elektr energiya manbasini mutanosib aniqlash uslubi yaratilgan;

ishlab chiqilgan uslublarni avtomobil elektr komponentlarini mavjud ichki yonuv dvigateli bilan muayyan harakat sharoitlarida o'zaro moslagan holda boshqarish imkoniyati ko'rsatilgan.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi. Tadqiqot natijalarining ishonchliligi ularni dunyoning yetakchi laboratoriyalari eksperimental ma'lumotlariga va soha bo'yicha yetakchi ilmiy nashrlarda chop etilgan natijalariga mos kelishi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati. Tadqiqotning ilmiy ahamiyati avtomobil gibrid yuritmasi parametrlari va boshqaruv rejimlarini tanlashning ishlab chiqilgan metodi bilan asoslanadi.

Olingan natijalarning amaliy ahamiyati avtomobilni loyihalash jarayonida gibrid yuritma parametrlari va boshqaruv rejimlarini tanlash orqali yoqilg'i-energetik resurslarni tejash bilan belgilanadi. Bundan tashqari, avtomobil gibrid yuritmasi parametrlarini tanlash metodi muayyan harakat sharoitlari uchun mos avtomobil modellarini tanlash imkonini berishi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. Ikkilamchi bozor avtomobilining

yonilg‘i samaradorligi va ekologik xavfsizligini oshirish uchun gibrizatsiya parametrlari va boshqaruv rejimlarini tanlashning ilmiy asoslarini ishlab chiqishda olingan natijalarga asosida:

“O‘zavtosanoat” AJ tizimida mavjud avtomobil yuritmasini tyuning gibriz yuritmasi bilan o‘zaro muvofiqlashtiruvchi boshqaruv qonuniyatlarini tanlash uslubi, yuqori yonilg‘i samaradorlikka erishish uchun avtomobil gibriz yuritmasi komponentlari quvvat ko‘rsatkichlarini tanlash orqali yuritma parametrlarini tanlash uslubi, avtomobil tyuning P5 konfiguratsiyali gibriz yuritmasi parametrlari va boshqaruv qonuniyatlari yuritma energiya samaradorligini baholash hisob dasturi joriy etildi (“O‘zavtosanoat” AJning 2023-yil 18-oktabrdagi №19/04-25-1586 ma‘lumotnomasi). Natijada, yangi foydalanishdagi avtomobillar modellarini loyihalash yoki tanlashda ularning konstruktiv parametrlari va boshqaruv rejimlarini tanlash, bu avtomobil energiya samaradorligini baholash va muayyan harakat sharoitlarida yonilg‘i sarfini aniqlash imkonini bergan.

Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi. Dissertatsiya ishining natijalari 4 ta xalqaro va 4 ta respublika ilmiy-texnik anjumanlarida ma‘ruza qilingan va muhokamadan o‘tkazilgan.

Tadqiqot natijalarining e‘lon qilinganligi. Dissertatsiya mavzusi bo‘yicha umumiy 21 ta ilmiy ish chop etilgan, shulardan, O‘zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasining fan doktori (DSc) dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan ilmiy nashrlarda 11 ta maqola, jumladan 6 ta respublika va 5 ta chet el ilmiy jurnallarida nashr etilgan. Shulardan 11 ta maqola yuqori impakt faktorli jurnal va anjumanlarda nashr etilgan.

Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi. Dissertatsiya kirish, to‘rtta bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati va ilovalardan tashkil topgan. Dissertatsiyaning hajmi 148 betdan iborat.

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Kirish qismida gibriz yuritmaning foydalanishdagi avtomobillarda tyuningli qo‘llash bo‘yicha ilmiy tadqiqot ishining dolzarbligi va zarurati asoslangan. Ishning asosiy maqsad va vazifalari, tadqiqot obyekt va predmeti, uning O‘zbekiston Respublikasi fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo‘nalishlariga mosligi ko‘rsatilgan. Ishning ilmiy yangiligi va gibriz yuritmal avtomobillarning parametr va boshqaruv rejimlarini tanlash bo‘yicha tadqiqotning asosiy natijalari, ularning ilmiy va amaliy ahamiyati asoslangan. Shuningdek, dissertatsiya ishi natijalarining amaliyotga tatbiqi, mavzu bo‘yicha nashr etilgan ishlar va uning tarkibiy tuzilishi bo‘yicha umumiy ma‘lumotlar yoritilgan.

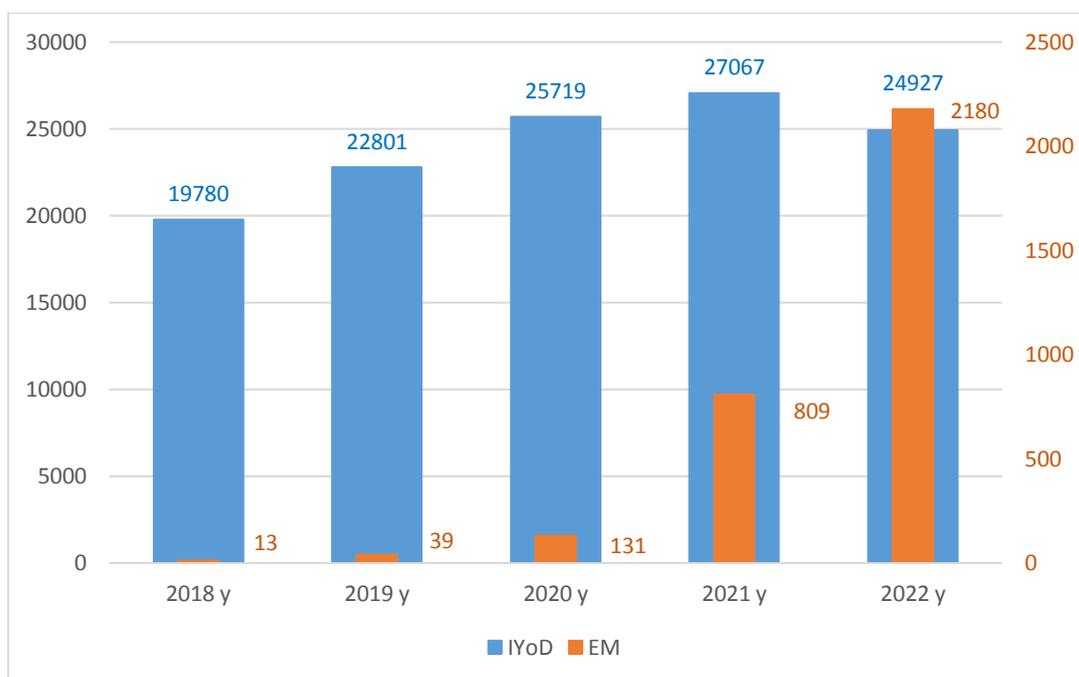
Dissertatsiya ishining “**Gibriz yuritmal avtomobilning zamonaviy konstruksiyalari**” nomli birinchi bobida avtomobil gibriz yuritmasi parametrlari va boshqaruv rejimlarini tanlash orqali avtomobil yonilg‘i sarfini kamaytirish muommosining hozirgi holati va mavjud ilmiy ishlar sharhi keltirilgan. Shundan kelib chiqib, avtomobil gibriz yuritmasi parametrlari va boshqaruv rejimlarini tanlash bo‘yicha mavjud metodlar, ularning yechimi bo‘yicha texnika-texnologiyalarning zamonaviy yutuqlari ko‘rib chiqilgan.

Avtomobil yonilg'i-tejamkorlik va tortish-tezlik xususiyatlarini gibrid yuritma parametrlari va boshqaruv rejimlarini tanlash orqali yaxshilash bilan xorijiy ilmiy izlanuvchilardan A. Emadi, M. Ehsani, Liu K, Z. Rahman, L. Guzzella, K.Noshirwan, G. Rizzo, F.Tiano, S. Onori, N. Amati, T. Hofman, F. Kucukay, A.Sciarretta, O. Sundström va boshqalar shug'ullanishgan.

Avtomobil va dvigatelning tortish-tezlik va yonilg'i-tejamkorlik xususiyatlarining turli ish sharoitlari, yonilg'i, transmissiya va mexatron boshqaruv bloklari taniqli olimlardan S.M. Qodirov, Sh.P.Alimuxamedov, B.I.Bazarov, J.R. Qulmuxamedov, A.A. Muxitdinov, J.Sh.Inoyatxodjeyev, S.Ro'zimov va boshqalar tomonidan tadqiq qilingan. Ularning tadqiqotlarida avtomobil xususiyatlarini yaxshilash yo'llari va usullari keng yoritilgan bo'lsa-da, foydalanishdagi mavjud avtomobillarda gibrid yuritmalarni qo'llash (tyuningli gibrillashtirish) yonilg'i-tejamkorlik va tortish-tezlik xususiyatlarini takomillashtirishning yangi imkoniyatlarini taqdim etadi.

Avtomobil gibrid yuritmalarining mavjud sxemalari tahlili tyuningli gibrillashtirish uchun P5 konfiguratsiya eng istiqbolli konstruktsiya ekanligini ko'rsatdi. Bu tanlov, asosan, yuritma parametrlarini turli massali avtomobillarga moslashtirish, mavjud konstruktsiyaga tatbiq etish, barcha rejimlarda ishlash imkoniyatlariga ega ekanligi va nisbatan soddaligi (minimal o'zgartirishlar bilan) bilan izohlanadi. Bulardan tashqari, gibrid yuritmaning bu konfiguratsiyasi gibrizatsiya darajasini o'zgartirishning amaliy soddaligi bilan ajralib turadi. Bugungi kunda ishlab chiqarishda mavjud 110 ta gibrid yuritmalik avtomobillar tahlili asosida quyidagilar aniqlandi: ulardagi ichki yonuv dvigateli (IYoD) maksimal quvvati avtomobilning minimal tezlanish talablarini qanoatlantiradi (1-rasm); odatiy yuritmalik avtomobillarda qo'llanilgan IYoDdan kam bo'lmagan ishchi hajmlardan foydalanilgan; bu avtomobillarning 60% dan ortiq qismida 1-2 kVt·soat sig'imli batareyadan foydalanilgan.

Zamon o'zgarishi va elektromobillarga bo'lgan ishonchning ortishi aholining elektr motorli avtomobillarni ko'proq xarid qilishida o'z aksini topdi. Bundan besh yil oldin, 2018-yilda O'zbekiston aholisi jami 13 ta elektromobil xarid qilgan bo'lsa, 2022-yilga kelib bo' ko'rsatkich 2180 taga yetdi (1-rasm). Albatta, bu birinchidan, aholi turmush darajasining yaxshilanishidan kelib chiqqan bo'lsa, ikkinchidan, dunyo avtomobil bozorida elektromobillarning ortishi, raqobat kuchayishi, buning ortidan elektromobillarning narxlarini sezilarli darajada tushganligi bilan ham bevosita bog'liq.



1-rasm. 2018–2022-yillarda O‘zbekistonda avtomobillar importi statistikasi

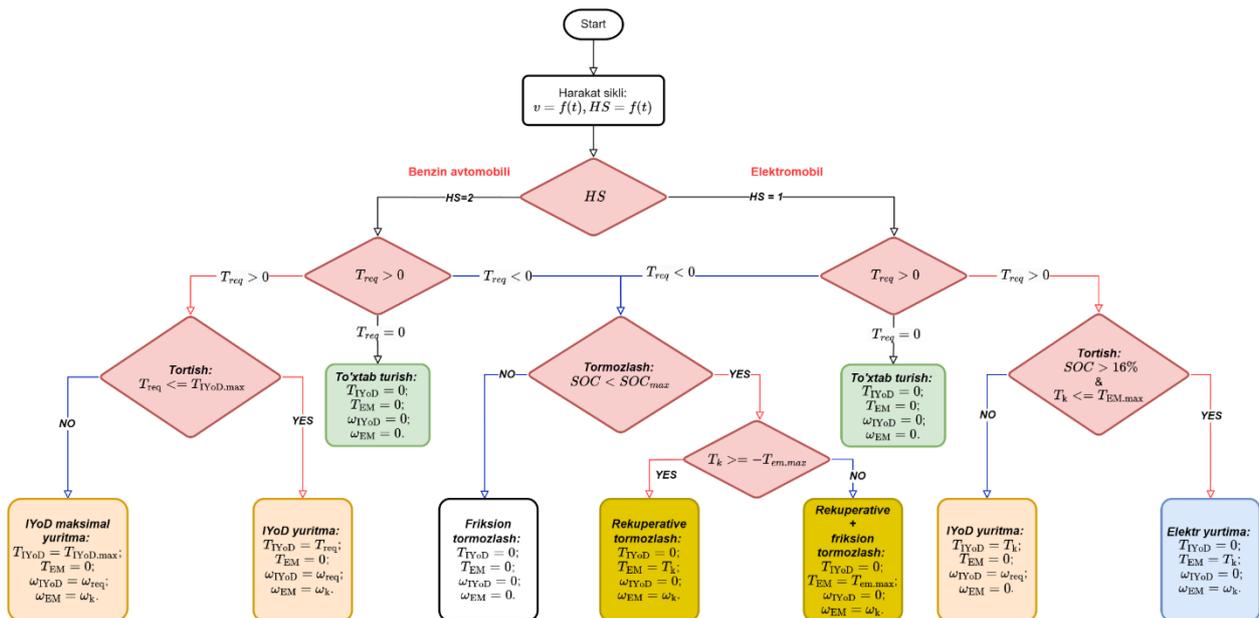
Aholida mavjud transport vositalari soni ortib borayotganligi sababli yoqilg‘i mahsulotlariga bo‘lgan talab ham oshib bormoqda. Benzin misolida olinadigan bo‘lsa, 2021-yilda jami 575 mln AQSh dollari qiymatidagi 1,0 mlrd litr benzin mahalliy ishlab chiqaruvchilar tomonidan ishlab chiqarilgan bo‘lsa, 2022-yilda bu ko‘rsatkich 690 mln AQSh dollar qiymatda 1,2 mlrd litrga teng bo‘ldi yoki o‘shish sur‘ati 20% ni tashkil qilgan. 2021-yilda jami 68,75 mln AQSh dollari qiymatida 190 mln litr benzin import qilingan bo‘lsa, 2022-yilda import 90%ga oshib 130 mln AQSh dollar qiymatida 361 mln litr benzin mahsulotlari import qilingan. Shuningdek, mamlakatimizdagi mavjud avtomashinalarning 65% qismi siqilgan tabiiy gaz qurilmalari bilan jihozlangan va tabiiy gaz yoqilg‘isi iste‘mol qiladi.

O‘zbekistonda 2018–2022-yillarda avtomobil ishlab chiqarish sur‘atlari tahlil qilinganda 5 yil ichida umumiy ishlab chiqarish 128 mingdan 295 minggacha yetgan. Shuningdek, tahlillar natijalariga ko‘ra B-sinf (o‘rta) avtomobillarining ulushi sezilarli ortgan. Ayniqsa, o‘rta segmentdagi Cobalt, Genra kabi sedan tipdagi avtomobillarga bo‘lgan talab, o‘z o‘rnida ishlab chiqarish mos ravishda yiliga 20 ming avtomobildan 90 minggacha oshirilgan. Mavjud ilmiy tadqiqotlar holati tahlili bugungi kunda avtomobil dinamik xususiyatlarini saqlagan holda eng kam yonilg‘i sarfini ta‘minlovchi gibril yuritma parametrlari va boshqaruv rejimlarini tanlashning ilmiy asoslari yo‘qligini ko‘rsatdi. Shundan kelib chiqib, turli talablarni hisobga olgan holda turli harakat sharoitlari uchun eng maqbul yonilg‘i samaradorlikka erishish imkonini beruvchi avtomobil gibril yuritmasi tyuningli elektrlashtirish parametrlari va boshqaruv rejimlarini tanlashning ilmiy asoslarini ishlab chiqish zarur.

Dissertatsiyaning **“Avtomobillarning gibril yuritmasi komponentlari parametrlarini tanlash uchun nazariy asoslar”** nomli ikkinchi bobida gibril yuritmalil avtomobilning me‘yoriy sikllarda harakatini modellashtirishning nazariy asoslari, yuritma komponentlari modellari va imitatsion modelni ishlab chiqish

masalalari ko‘rilgan. Shuningdek, gibridd yuritmal avtomobil parametrlari va boshqaruv rejimlarini tanlashning mavjud metodlari tahlil qilingan.

Optimallashtirish usullariga asoslangan boshqaruv rejimlaridan foydalanish ularning avtomobilning gibridd haydovchisi parametrlarini tanlashga ta’sirini bartaraf etishga imkon beradi. Gibridd yuritmaning asosiy parametrlari quyidagilar: ichki yonuv dvigateling maksimal quvvati va elektr transport vositasi, shuningdek, tortish batareyasining quvvati. Muayyan haydash sharoitida eng kam yoqilg‘i sarfiga erishish uchun gibridd avtomobil parametrlarini aniqlash uchun ushbu parametrlarning avtomobilning yoqilg‘i sarfiga ta’sirini tahlil qilish kerak. Ushbu parametrlarni o‘zgartirib, barcha dinamik talablarga javob beradigan va ayni paytda eng kam yoqilg‘i sarfiga ega bo‘lgan parametrlar kombinatsiyasini topish mumkin.



2-rasm. Ishlab chiqilgan gibridd dvigatelni boshqarish algoritmi

Harakat turini tanlash, ya’ni shahar ($HS=1$) yoki magistral ($HS=2$) harakat turlaridan birini tanlash orqali amalga oshiriladi. Amaliy holatda bu jarayon haydovchi tomonidan kerakli tugmani bosish orqali tanlanishi mumkin. Bunda avtomobil shaharda harakatlanganida, asosan, elektr yuritmasidan foydalanish nazarda tutilgan. Magistral siklda tortish rejimi ichki yonuv dvigateli tomonidan amalga oshiriladi.

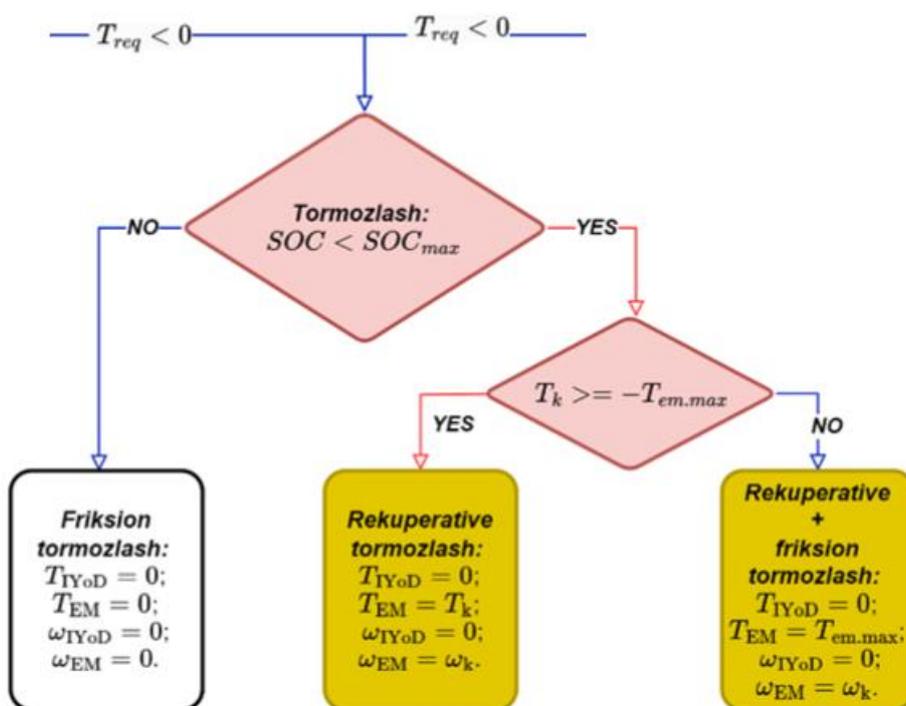
Harakat rejimlarini tanlash, talab etilgan burovchi moment T_{req} qiymatiga bog‘liq holda aniqlanadi. Bunda $T_{req} > 0$ tortish rejimini anglatadi va tortish uchun zarur bo‘lgan energiya manbai tanlanilishi lozim. $T_{req} = 0$ to‘xtab turish rejimini ifodalaydi. Tormoz rejimida bu burovchi moment manfiy qiymatga ega bo‘ladi, ya’ni $T_{req} < 0$.

Haydovchi tomonidan $HS=1$ (shahar) rejimi tanlanganda belgilangan algoritmgaga ko'ra elektr yuritmada harakatlanish ta'minlanadi. Bunda bir qancha shartlar bir vaqtning o'zida bajarilishi talab etiladi. Kiritilgan shartlar barchasi to'liq bajarilmagan holatda, avtomashina avtomatik ravishda $HS=2$ (magistral) rejimga o'tadi. Elektr yuritmada harakatlanish uchun:

- 1) $SOC > 16\%$ sharti, ya'ni elektr batareyaning zaryadlanganlik darajasi belgilangan miqdordan (masalan, 16%) yuqori bo'lishi;
- 2) $T_k \leq T_{EMmax}$, ya'ni T_k g'ildirak burovchi momenti elektr yuritma burovchi momentiga teng yoki kichik bo'lishi shart.



Harakat rejimlari tanlanganidan so'ng $T_{req} < 0$ bo'lsa, ya'ni burovchi moment manfiy qiymatda bo'lganda, tormozlanish amalga oshiriladi. Bunda tormozlash jarayonining bir qancha shartlariga ko'ra *rekuperativ*, *frikсион* yoki *rekuperativ + frikсион* tormozlash rejimi ishlashi mumkin.



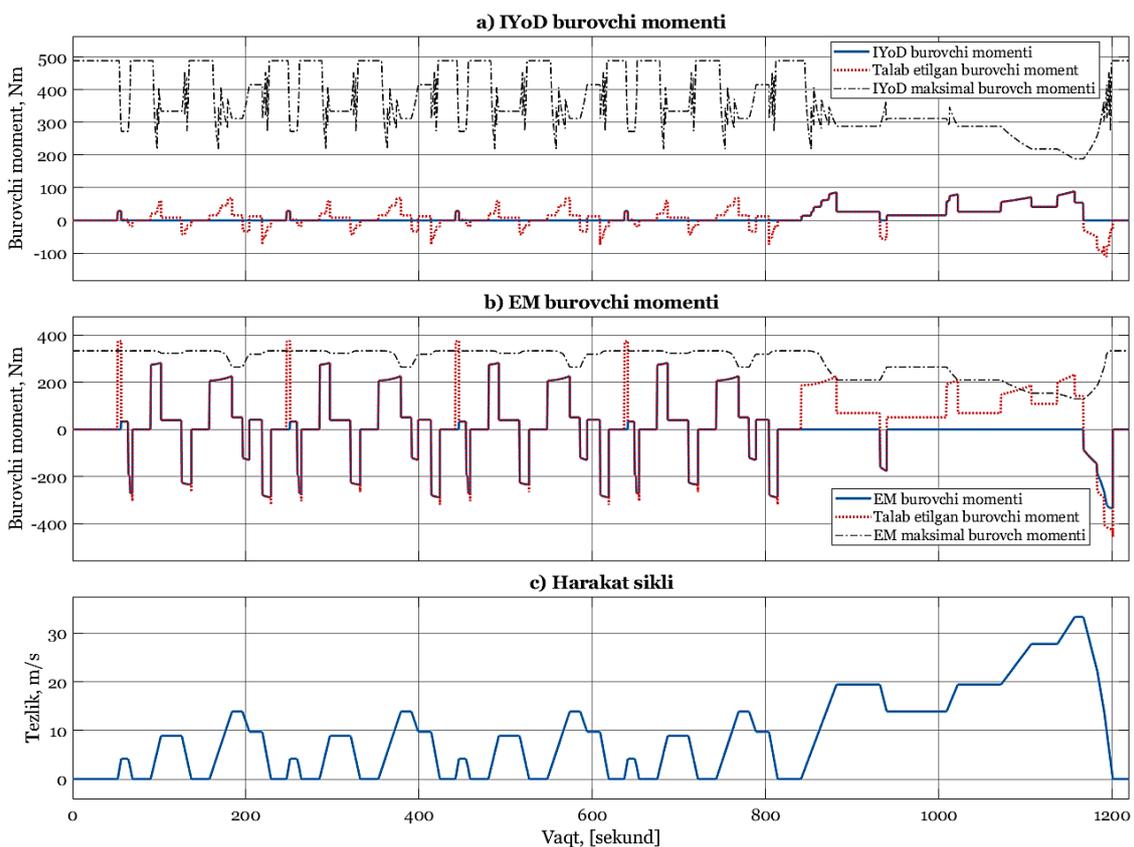
3-rasm. Tormozlash shartlari

$SOC < SOC_{max}$ sharti bajarilganda, ya'ni batareyaning zaryadlanganlik darajasi, belgilangan miqdordan kichik bo'lgan holatda, *rekuperativ* tormozlanish ishlaydi. Yuqoridagi shart bajarilmaganda, *frikсион* tormozlanish amalga oshiriladi. $T_k \geq -T_{em.max}$ holatida, g'ildirakdagi tormozlovchi moment elektr dvigatel maksimal burovchi momentidan katta yoki teng bo'lganda, *to'liq rekuperativ* tormozlanish ishlaydi. Mazkur shart bajarilmaganda esa, *rekuperativ + frikсион* tormozlanish amalga oshiriladi.

Avtomobilning ma'lum bir markasi va modelini tanlashda asosiy omillardan biri bu yoqilg'i sarfidir. Biroq, avtomobil ishlab chiqaruvchilari pasportda haqiqiy

foydalanishda aniq bo‘lmagan ko‘rsatkichlarni taqdim etadi. Bu qisman zavod sinovlari paytida tegishli (odatiy) sharoitlarda haqiqiy tezlik chegarasini aks ettirmaydigan haydash sikllaridan foydalanish bilan bog‘liq. Bu, ayniqsa, shahar sharoitlari uchun to‘g‘ri keladi. Ma‘lumki, hatto bir mamlakat sharoitida ham hudud va aholi zichligi, yo‘l tarmog‘ining uzunligi bo‘yicha taqqoslanadigan shaharlardagi yo‘llarning holati, harakatning o‘rtacha tezligi va uning davomiyligidagi farqni hisobga olmaganda, turli bosqichlar (tezlanish, barqaror tezlikda harakatlanish, megapolislar, kichik shaharlarda tormozlash va to‘xtash) sezilarli darajada farqlanadi.

Ma‘lumki, sun‘iy odatiy haydash davrlarini olish ko‘p vaqt talab qiladigan jarayondir va ko‘pincha natijada paydo bo‘lgan tezlik sxemasi endi o‘zgaruvchan yo‘l sharoitlariga mos kelmaydi. Misol uchun, hali ham qo‘llaniladigan Yevropa NEDC sikli 1980-yillarda ishlab chiqilgan. Biroq, maqbul vaqt oralig‘ida statistik ma‘lumotlardan olingan adekvat tipik haydash sikllariga bo‘lgan ehtiyoj saqlanib qolmoqda. Uzoq muddatli eksperimental tadqiqotlar muammosini hal qilish uchun butun dunyoda keng tarqalgan onlayn sun‘iy yo‘ldosh monitoringining joriy ma‘lumotlar bazalaridan foydalanish mumkin.



4-rasm. NEDC harakat sikli

a) Ushbu grafikda NEDC harakat siklida IYoD maksimal burovchi momenti ($T_{IYoD.max}$) qora nuqta-uzuk chiziq (.....) bilan berilgan. Talab etilgan burovchi moment (T_{req}) qizil nuqta-nuqta chiziq (.....) bilan ko‘rsatilgan. IYoD tomonidan berilgan burovchi moment (T_{IYoD}) ko‘k uzluksiz chiziq (—) orqali ifodalangan.

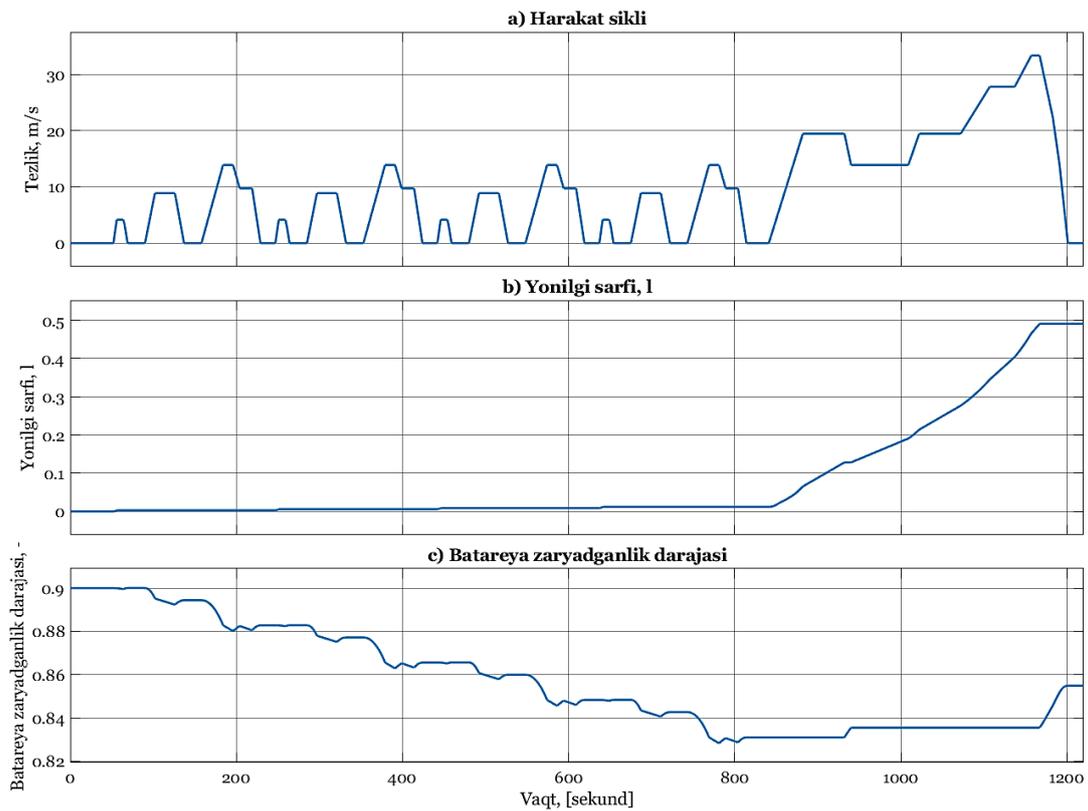
b) Mazkur grafikda NEDC harakat siklida IYoD maksimal burovchi momenti ($T_{IYoD.max}$) qora nuqta-uzuk chiziq EM maksimal burovchi momenti ($T_{EM.max}$) qora

nuqta-uzuk chiziq (.....) bilan berilgan. G'ildiraklardagi talab etilgan burovchi moment (T_k) qizil nuqta-nuqta chiziq (.....) bilan ko'rsatilgan. EM tomonidan berilgan burovchi moment (T_{EM}) ko'k uzluksiz chiziq (—) orqali ifodalangan.

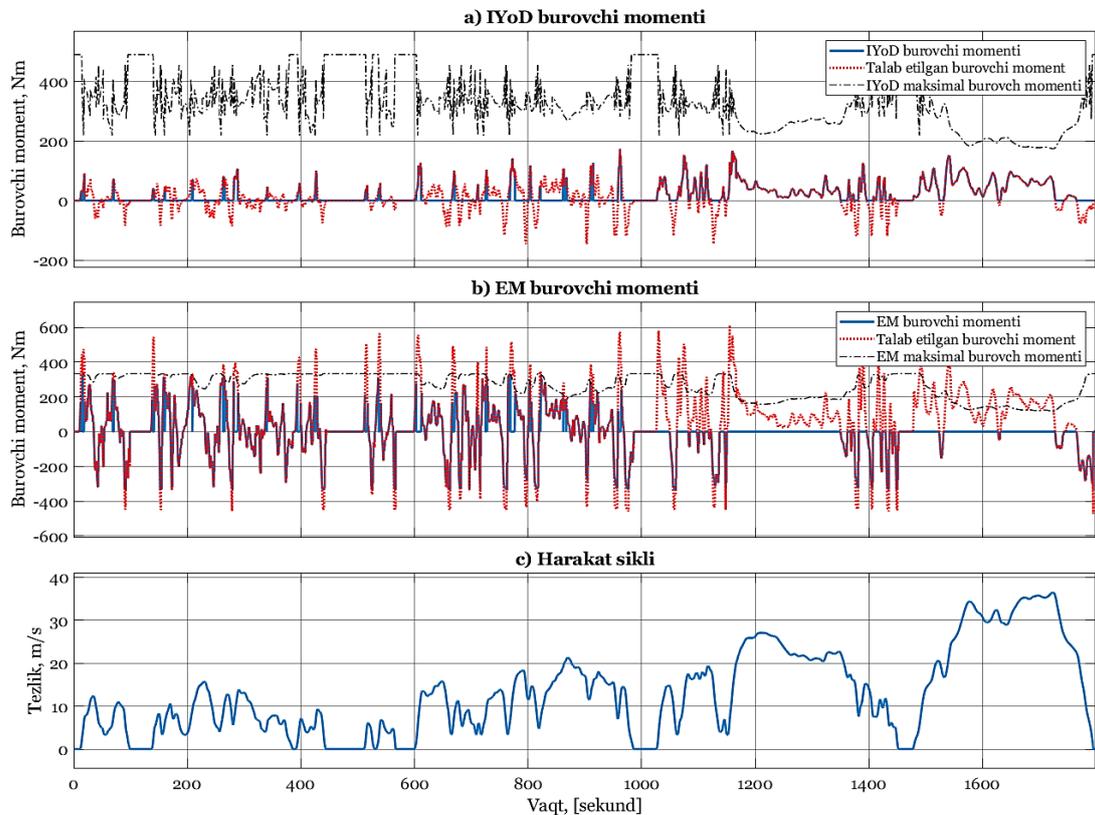
c) Ushbu grafik NEDC harakat siklida davomida tezlikning o'zgarishini ifodalaydi.

Monitoring tizimlarining barcha serverlari tomonidan yaratilgan haydash tezligi hisobotlari asosida haydash siklini sintez qilish uchun statistik material sifatida faqat yangilanish muddati yetarlicha qisqa bo'lganlar mos keladi. Biroq, hozirgi minimal tezlikni yangilash chastotasi bir soniya bilan olingan tezlik rejimlari ham oldindan ishlov berishni talab qiladi. Buning sababi shundaki, tezlik qiymatlari GNSS tizimi tomonidan sun'iy yo'ldoshdan olingan koordinatalar asosida hisoblab chiqiladi va sezilarli mahalliy xatolik beradi va u ham ijobiy, ham salbiy bo'lishi mumkin. Buning uchun spektral ma'lumotlarni tahlil qilish vositalaridan foydalangan holda ma'lumotlarni kattalashtirishdan foydalanish mumkin. Masalan, Wavelet transformatsiyasi. GNSS monitoring ma'lumotlarini ma'lum bir tafsilotga yaqinlashtirish tezlik profilining butun maydoni bo'ylab chegaralarni tekislash imkonini beradi.

Grafiklarda zaruriy burovchi moment elektr mashinasi burovchi momentidan katta bo'lgan holda to'liq harakat uchun zarur burovchi moment IYoD tomonidan ta'minlanganini ko'rishimiz mumkin. Bu holda EM burovchi momenti nolga teng bo'ladi. Grafikdan ko'rinib turibdiki, NEDC siklining magsitral qismida (800-sekunddan so'ng) elektr mashinasi umuman ishtirok etmaydi, aksincha IYoD to'liq zaruriy burovchi momentni ta'minlaydi. Butun harakat sikli davomida EM burovchi momenti talab etilgan burovchi momentning -250 dan 250 gacha bo'lgan diapozonida faol ishtirok etganini ko'rish mumkin. Demak, ushbu diapozonda EM burovchi moment musbat holatida tortish rejimida, manfiy holatlarda esa, rekuperatsiya rejimida ishlaydi. 800-sekunddan keyin esa faqat rekuperativ tormozlanishni ta'minlaydi. 1000–1200-sekundlar oraliq'ida esa IYoD burovchi momentining egri chizig'i talab etilgan burovchi moment egri chizig'i bilan ustma-ust tushgan. Bu esa, ushbu oraliqda ichki yonuv dvigatelining talab etilgan burovchi momentni to'liq ta'linlab berganini anglatadi. Aynan shu oraliqda EM burovchi momenti ishtirok etmagan. 1000–1200-sekund oraliq'ida tezlik 80–110 km/soatgacha yetgan. 1000 sekunddan keyin asosan magistral harakat rejimida IYoD ishlaganligi sababli, yonilg'i sarfi keskin o'zgarishini kuzatish mumkin. Harakat siklining shahar qismida, asosan, batareya zaryadlanganlik darajasining (SOC) kamayishi kuzatiladi (800-sekundga qadar). Magistral harakat rejimida, asosan, EM rekuperativ tormozlash jarayonlari sababli, batareya zaryadi o'sishini kuzatiladi. Ichki yonuv dvigatelining yoqilg'i sarfi keskin oshgan oraliqda avtomobil tezligining ham keskin oshganligini ham kuzatish mumkin, bu esa tyuningli gibrid rejimining har xil tezlik va burovchi momentda har xil ta'minlovchi manba (EM yoki IYoD) tanlayotganini bildiradi.



5-rasm. NEDC harakat sikli: a) harakat sikli; b) yonilg‘i sarfi; c) batareya zaryadlanganlik darajasi



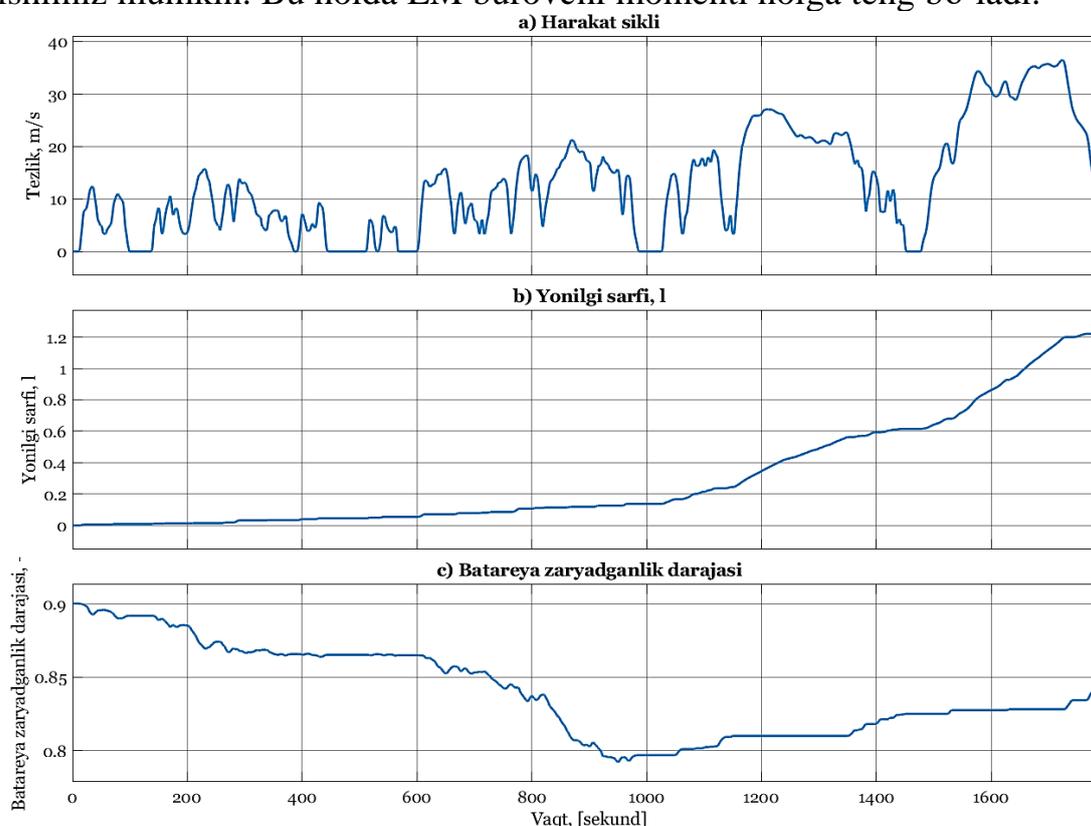
6-rasm. WLTC harakat sikli: a) IYoD burovchi momenti; b) EM burovchi momenti; c) harakat sikli bo‘yicha tezlikning o‘zgarish grafiki

d) Bu grafikda WLTC harakat siklida IYoD maksimal burovchi momenti ($T_{IYoD.max}$) qora nuqta-uzuk chiziq (.....) bilan berilgan. Talab etilgan burovchi moment (T_{req}) qizil nuqta-nuqta chiziq (.....) bilan ko'rsatilgan. IYoD tomonidan berilgan burovchi moment (T_{IYoD}) ko'k uzluksiz chiziq (—) orqali ifodalangan.

e) Mazkur grafikda WLTC harakat siklida IYoD maksimal burovchi momenti ($T_{IYoD.max}$) qora nuqta-uzuk chiziq EM maksimal burovchi momenti ($T_{EM.max}$) qora nuqta-uzuk chiziq (.....) bilan berilgan. G'ildiraklardagi talab etilgan burovchi moment (T_k) qizil nuqta-nuqta chiziq (.....) bilan ko'rsatilgan. EM tomonidan berilgan burovchi moment (T_{EM}) ko'k uzluksiz chiziq (—) orqali ifodalangan.

f) Ushbu grafik WLTC harakat siklida davomida tezlikning o'zgarishini ifodalaydi.

Zaruriy burovchi moment elektr mashinasi burovchi momentidan katta bo'lgan holda to'liq harakat uchun zarur burovchi moment IYoD tomonidan ta'minlanganini ko'rishimiz mumkin. Bu holda EM burovchi momenti nolga teng bo'ladi.



7-rasm. WLTC harakat sikli: a) harakatsiklikda tezlik o'zgarishi; b) yonilg'i sarfining harakat siklida o'zgarishi; c) batareya zaryadlanganlik darajasi

Grafikdan ko'rinib turibdiki, WLTC siklinin magistral qismida elektr mashinasi umuman ishtirok etmaydi, aksincha, IYoD to'liq zaruriy burovchi momentni ta'minlaydi. Magistral siklda faqatgina tormoz jarayonida EM recuperative tormozlash rejimida ishlaydi. Bunda ba'zi hollarda rekuperativ+frikcion tormozlash amalga oshiriladi. *a*, *b* va *c* grafiklar solishtirilganda, *b* grafikda tasvirlangan holatda 1000-sekunddan keyin EM burovchi momenti nol va manfiy qiymatga o'zgargani ma'lum bo'ladi. Talab etilgan burovchi moment manfiy qiymatga -250 Nm qiymatgacha tushganda EM burovchi

momenti bilan bir chiziqda joylashgan. -250 Nm dan past qiymatda esa faqat talab etilgan burovchi momentning o'zi tasvirlangan. Shundan kelib chiqib aytish mumkinki, -250 Nm talab etilgan burovchi momentda rekuperativ tozmozlanish amalga oshmoqda, undan pastda esa friksion tormozlanish kuzatiladi.

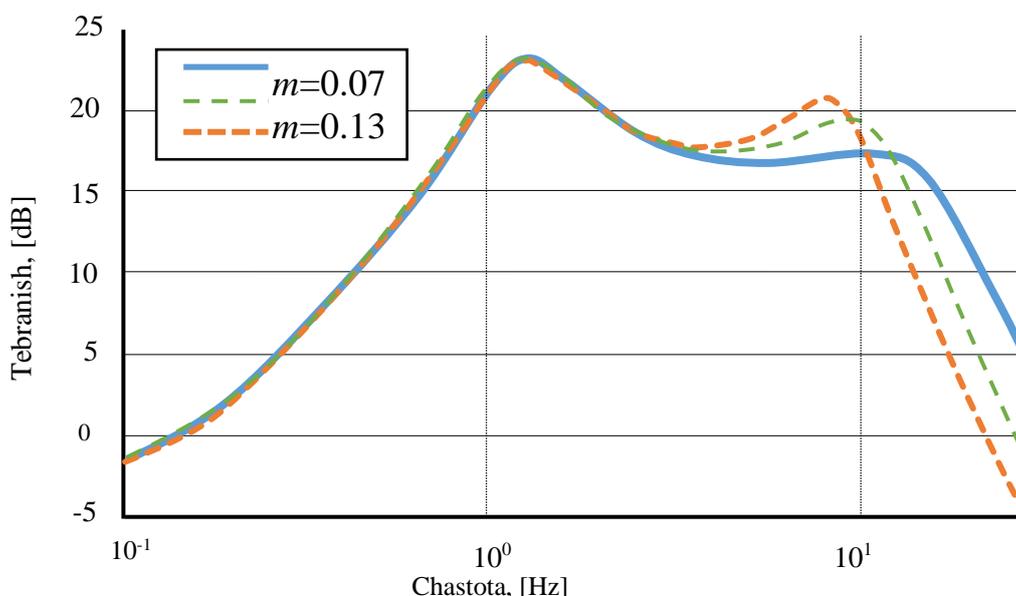
1000 sekundan keyin, asosan, magistral harakat rejimida IYoD ishlaganligi sababli, yonilg'i sarfi keskin o'zgarishini kuzatish mumkin. Harakat siklining shahar qismida, asosan, batareya zaryadlanganlik darajasining (SOC) kamayishi kuzatiladi. Magistral harakat rejimida, asosan, EM recuperative tormozlash jarayonlari sababli, batareya zaryadi o'sishini kuzatish mumkin.

Shuningdek, UDDS harakat sikli: a) IYoD burovchi momenti; b) EM burovchi momenti; c) harakat sikli bo'yicha tezlikning o'zgarish grafiklari ham keltirilgan. Bunda:

grafikda UDDC harakat siklida IYoD maksimal burovchi momenti ($T_{IYoD.max}$) qora nuqta-uzluq chiziq (.....) bilan berilgan. Talab etilgan burovchi moment (T_{req}) qizil nuqta-nuqta chiziq (.....) bilan ko'rsatilgan. IYoD tomonidan berilgan burovchi moment (T_{IYoD}) ko'k uzluksiz chiziq (___) orqali ifodalangan.

Osma konstruksiyasida haydash qulayligi va yo'lda muvozanatni ushlab turish asosiy e'tibor qaratiladigan jihat hisoblanadi. Gibril yuritmal avtomashinalarda (P5) g'ildirak ichidagi dvigatel o'zgartirilmagan massaga kiruvchi og'irlikni keltirib chiqaradi, bu esa osmaning barqaror ishlashiga salbiy ta'sir qilishi mumkin. Ushbu bobda osmasiz massaning osma massasiga nisbati m massa nisbati sifatida aniqlanadi. 8-rasmda m ning avtomobil kuzovining tezlashishi va shinalar burilishining chastota reaksiyalariga ta'siri ko'rsatilgan.

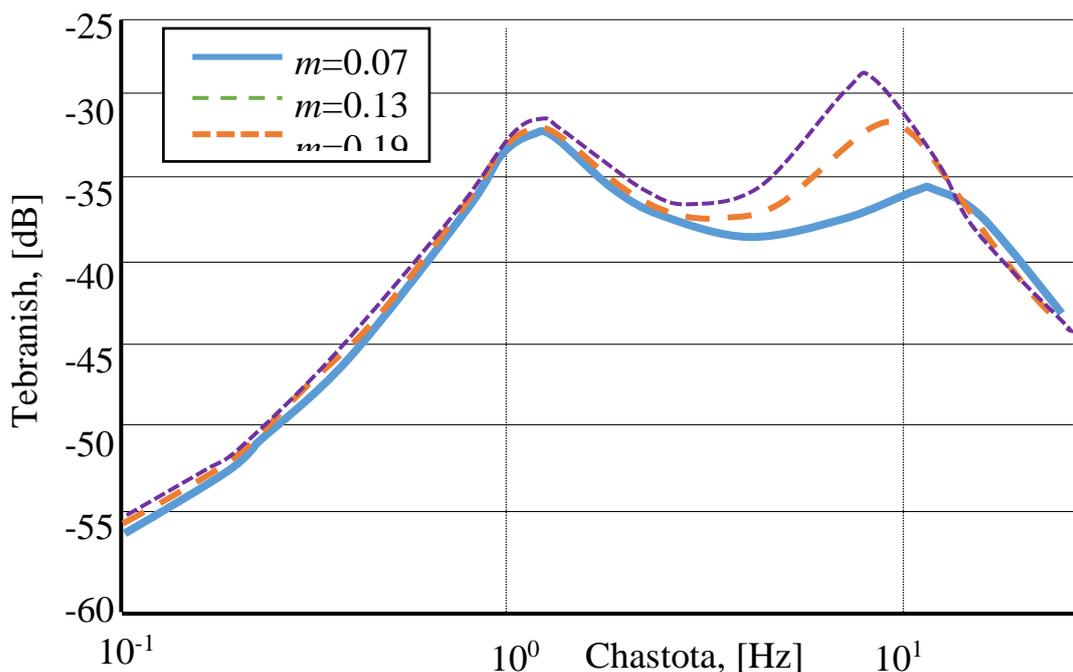
Cheklovlar yo'ning vertikal tezligidan yo'ning vertikal tezligiga yoki boshqa bog'liq uzatish funksiyalariga o'tish funksiyasida mavjud bo'lgan o'zgarma nuqtalardir. Ushbu maxsus nuqtalarda chastota reaksiyalar o'zgarma bo'lsa-da, ba'zi avtomobil parametrlari o'zgaradi, masalan, to'xtatib turish, qattqlik va demping. O'zgarma nuqta avtomobil kuzovi tezlashuvining chastotali javobida qora nuqta bilan belgilanadi. Bu fixed invariant point (FIP) deb ataladigan nuqta. FIP faqat shinaning qattqligi, osma bilan va osmasiz massaga bog'liq bo'lgan o'zgarma nuqtadir, lekin osmaning qattqligi, demping yoki faol qo'zg'atuvchi kuchiga emas. Boshqacha qilib aytganda, FIP o'zgarma nuqtaning chastotasi va daromadiga osma turlari, jumladan, boshqariladigan va boshqarilmaydigan osmalar ta'sir qilmaydi. Binobarin, ikkinchi darajali rezonansda tarqaladigan massa tebranishlarini kamaytirib bo'lmaydi. Demak, nima bo'lishidan qat'i nazar, boshqarilmaydigan osma va boshqariladigan osma burilmagan salbiy ta'sirni to'liq bartaraf eta olmaydi.



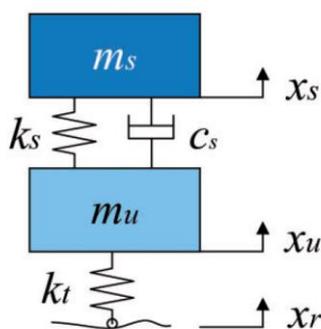
8-rasm. Massa nisbati ta'sirlari: kuzov tezlanishi

8-rasmda ko'rsatilganidek, 2 tartibli rezonans atrofida m ga ortiqcha massa tezlanishining ortishini ta'minlaydi. Aksincha, ikkinchi tartibli rezonans chastotasi m ortishi bilan kamayadi. E'tibor berilsa, odamlar 4–8 Gts atrofida vertikal tezlashuvga eng sezgir. Shunga o'xshab, 9-rasmda ko'rsatilganidek, katta bo'lmagan massa ikkinchi darajali rezonans atrofida shinalar burilishining katta ortishiga olib keladi, bu esa yo'lni ushlab turish qobiliyatiga zararli.

Umuman olganda, boshqariladigan osmalar yordamida avtomobilning vertikal dinamikasi yaxshilanishi mumkin. Shuning uchun boshqariladigan osma o'zining yaxshi ishlashi va qo'llanilishi tufayli nojo'ya ta'sirni bartaraf etish uchun birinchi tanlovdir. Biroq, ikkinchi darajali rezonans atrofida boshqariladigan osmaning ishlashi ikki darajali erkinlik (2-DOF) chorak avtomobilining o'ziga xos cheklovlari bilan cheklangan (9-rasm).



9-rasm. Massa nisbati ta'sirlari: shina egilishi



10-rasm. 2-DOF (2 darajali erkinlik) avtomashina modeli

Avtomobilning tebranish-akustik qulayligi uning eng muhim qabul qilingan sifatlaridan birini ifodalaydi, shu bois mijozga subyektiv bog‘liq. Insonga subyektiv jihatdan bog‘liq bo‘lgan boshqa avtomobil xususiyatlari – uslub, ergonomika, termal qulaylik, faol va passiv xavfsizlik, harakat, yoqilg‘i sarfi va boshqalar.

“**Eksperimental tadqiqotlar**”ga bag‘ishlangan uchinchi bobda ishlab chiqilgan matematik va Matlab/Simulink dasturidagi imitatsion modellar ishonchliligini baholashda dunyoning yetakchi laboratoriyalari tomonidan o‘tkazilgan eksperimental tadqiqot natijalari taqqoslangan. Bu eksperimental natijalar AQSh Yonilg‘i va transport vositalarining milliy laboratoriyasi NVFEL (National Vehicle and Fuel Emissions Laboratory) tomonidan Toyota Camry LE 2018 avtomobilida va Argonn milliy laboratoriyasi (Argonne National Laboratory) tomonidan Kia Soul 2015 elektrik avtomobilida olingan. Shuningdek, Aydaxo milliy laboratoriyasining (Idaho National Laboratory) istiqbolli avtomobillar bo‘limida olingan batareyaning eksperimental natijalaridan foydalanilgan.

Gibrid yuritmal avtomobillarda elektr mashina tortish (elektr dvigatel) va tormozlash (generator) rejimlarida ishlaydi. Generator rejimida elektr mashina elektr energiyasini ishlab chiqaradi va batareyani zaryad qiladi.

Gibrid yuritmal avtomobilning tortishish-tezlik va yoqilg‘i-iqtisodiy xususiyatlarini har tomonlama baholashda, tortishish elektr batareyasi modelida amalga oshiriladigan quvvat, energiya yig‘uvchanlik, zaryadlash va zaryadsizlash jarayonidagi chegaralar, zaryadlash/zaryadsizlash siklining FIK kabi parametrlarni o‘z ichiga olishi kifoya.

Mavjud modellar TAB ning turli xossalarini baholashga imkon beradi, lekin yuqorida aytib o‘tilganidek, ular murakkab matematik apparat orqali tasvirlangan.

Ushbu modelda EYuK (Ye), R_{dch} zaryadsizlashda ichki qarshilik va R_{ch} zaryadlashda TAB zaryadlash darajasining funksiyalari hisoblanadi, ya’ni,

$$E = f(SOC), R_{dch} = f(SOC) \text{ va } R_{ch} = f(SOC)$$

Elektrotexnika kursidan ma’lumki, EYuK quyidagilarga teng:

Batareyani zaryadlash rejimida:

$$E = U_{term} - I_b \cdot R_{ch} \quad (1)$$

Yoki bu tenglama quvvat balansi ko‘rinishida yozilishi mumkin:

$$EI_b = U_{term} \cdot I_b - I_b^2 \cdot R_{ch} \quad (1)$$

yoki

$$P_b = P_{term} - I_b^2 R_{ch} \quad (3)$$

$$\text{bu yerda } P_{term} = P_{gen} \cdot \eta_{gen} \quad (4)$$

Batareyani zaryadsizlash rejimida:

$$E = U_{term} + I_b \cdot R_{dch} \quad (5)$$

Yoki tenglama (23) quyidagi shaklda yozilishi mumkin:

$$EI_b = U_{term} \cdot I_b - I_b^2 \cdot R_{dch} \quad (6)$$

$$P_b = P_{term} - I_b^2 R_{dch} \quad (7)$$

$$P_{term} = \frac{P_{motor}}{\eta_{motor}}. \quad (8)$$

Akkumulatorlar ishlab chiqaruvchilari akkumulatorlarning damages oldini olish uchun quyidagi cheklovlarni ko'zda tutadilar:

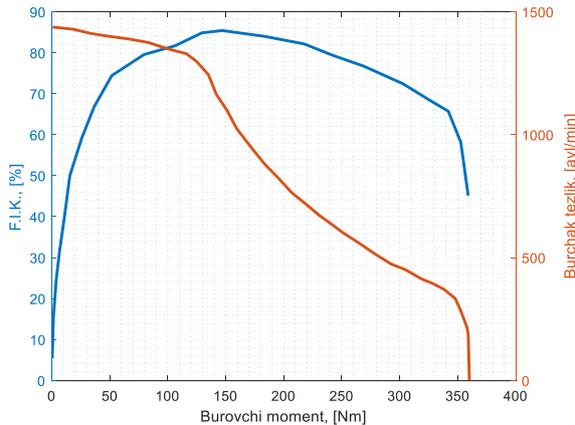
- 1) razryad tokining maksimal qiymati bo'yicha cheklash ($I_{max.dch}$);
- 2) chiqishlardagi minimal kuchlanish qiymati bo'yicha cheklash (U_{min});
- 3) zaryad tokining maksimal qiymati bo'yicha cheklash ($I_{max.ch}$);
- 4) chiqishlardagi maksimal kuchlanish qiymati bo'yicha cheklash (U_{max}).

Gibrid yuritmalı avtomobillarda elektr mashina tortish (elektr dvigatel) va tormozlash (generator) rejimlarida ishlaydi. Generator rejimida elektr mashina elektr energiyasini ishlab chiqaradi va batareyani zaryad qiladi.

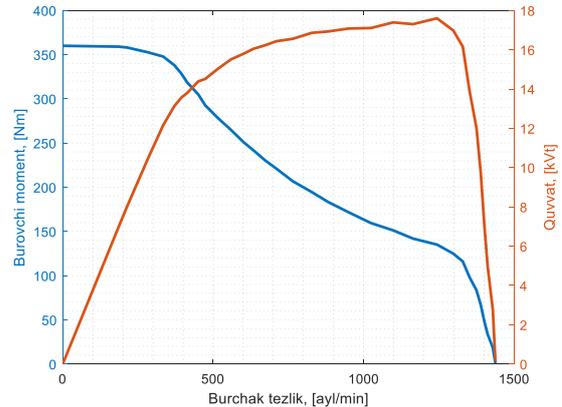
Elektr mashinaning FIK elektr mashina valining aylanish momenti va burchak tezligi funksiyasi hisoblanadi.

$$\eta_{motor} = f(M_{motor}, \omega_{motor})$$

$$\eta_{gen} = f(M_{gen}, \omega_{gen})$$



Elektr mashinasi burovchi moment va foydali ish ko'effitsienti tasnifi



Elektr mashinasi burovchi moment va quvvat tasnifi

11-rasm. Turli harakat sikllarida g'ildirakdagi zarur tortish (Max. quvvat) va tormozlashdagi (Min. quvvat) quvvatlar qiymatlari

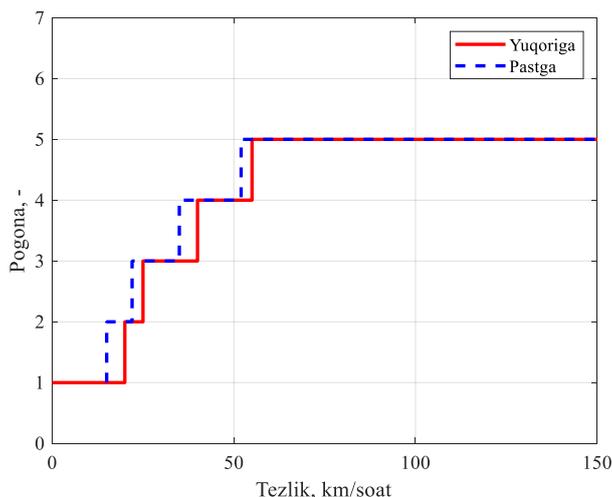
Quyidagi sabablarga ko'ra ω_1 burchak tezligidan pastroq holda rekuperatsiya bo'lmaydi:

- qayta tiklangan energiya katta emas [HILS];
- komfortga (qulaylikka) salbiy ta'sir ko'rsatishi mumkin [HILS].

Bir tekis harakatda avtomobilning ichki yonuv dvigateli statik rejimda ishlaydi. Dvigatelning quvvati, transmissiyaning FIKini hisobga olgan holda, harakatga qarshilik kuchlarining yig'indisiga teng. Ma'lumki, dvigatelning yoqilg'i sarfini valning burchak tezligiga va dvigatel quvvatidan foydalanish darajasiga qarab aniqlash mumkin.

Uzatmalar qutisi modeli burovchi momentni oshirish va burchak tezligini kamaytirish uchun mo'ljallangan. Uzatmalarni almashlab qo'shish momenti uzatmalarni almashlab qo'shish amalga oshirilishi kerak bo'lgan haydovchi va tezlik blokida aniqlanadi va boshida belgilanadi.

12-rasmda ikkita omil: drossellash to'sma qopqog'ining holati va avtomobil harakatining tezligi asosida uzatmalarni almashlab ulash momentini aniqlash jadvali ko'rsatilgan. Ammo maqsad modelning ishonchliligini eksperimental baholash bo'lganligi sababli, uzatmalarni almashlab qo'shishning bir faktorli usuli tanlandi. Bir faktorli usul asosida haydovchi ushbu uzatmadagi tezlik chegarasiga erishilganda yuqori uzatmaga o'tadi.



12-rasm. Uzatmalarni almashlab qo'shish momentini aniqlash

Ishlab chiqilgan matematik modellar va Matlab/Simulink paketi asosida ishlab chiqilgan virtual avtomobil stendining ishonchliligini baholash maqsadida eksperimental tadqiqotlar olib borildi.

Muayyan harakatning yoqilg'i xarakteristikasi 1000 m uzunlikdagi o'lchangan uchastkada amalga oshirildi. O'lchangan uchastkaga kirishda avtomobillar 90 va 120 km/soat muayyan tezlikka ega edi. Haydovchining vazifasi bu tezlikni o'lchangan uchastkaning oxirigacha saqlab turish hisoblandi. Avtomobilning haqiqiy oniy tezligi tashqi indikatorlarda ko'rinib turdi. O'lchangan uchastkaning oxirida sarflangan yoqilg'i hajmi, o'lchangan uchastkadagi o'rtacha tezlik va o'lchangan uchastkadan o'tish vaqti qayd etildi.

Yo'lda shahar siklida yoqilg'i sarfi ko'rsatkichi yalpi og'irligi 3,5 tonnagacha bo'lgan avtotransport vositalari uchun yo'lda shahar haydash siklining operativ xaritasiga muvofiq amalga oshirildi.

Sinovlar yo'lning uzunligi 4000 m bo'lgan o'lchangan uchastkasida amalga oshirildi, uchastkalar haydash siklining operatsion xaritasi talablariga muvofiq belgilangan. Operatsion xarita haydovchiga kontroler tomonidan berilgan va haydovchi kontrolni buyrug'iga, tezlik indikatorini va yo'ldagi belgilar ko'rsatkichlariga ko'ra, haydash sikli bo'ylab belgilangan profilni kuzatib boradi.

Sinov oxirida sarflangan yoqilg'i hajmi, bir haydash siklida vaqt va bosib o'tgan masofa qayd etildi.

“Ikkilamchi bozorda yo'lovchi tashish uchun ichki yonuv dvigateli hamda gibrid dvigatelni yaratish bo'yicha tavsiyalar ishlab chiqish”ga

bag'ishlangan to'rtinchi bobda avtomobil gibrid yuritmasi parametr va boshqaruv rejimlarini tanlash bo'yicha tavsiyalar va yuritmani tyuningli gibridlashtirishning iqtisodiy samarasi hisoblari keltirilgan.

Ichki yonuv dvigatelida harakatlanadigan avtomashinalar O'zbekiston sharoitida 2023-yil statistika agentligi ma'lumotlariga ko'ra 3,2 milliondan ortiqni tashkil qiladi. Ulardan 74% qismi tabiiy siqilgan gaz yonilg'isida harakatlanadi, 24 foizi benzinda va 2% qismi elektr va boshqa alternativ yonilg'ida harakatlanadi. Foydalanishdagi avtomashinalarni tyuningli gibridlashtirish uchun potensial xaridorlar benzin yoqilg'isida harakatlanadigan avtomashinalar bo'lib, qo'shimcha ravishda tabiiy siqilgan gaz yoqilg'isida harakatlanuvchi avtomashina vositalarida ham tyuningli gibridlashtirish iqtisodiy samaradorligini ko'rib chiqish mumkin.

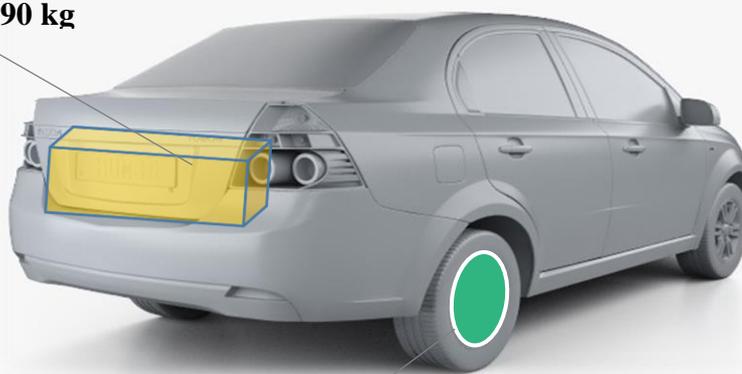
Hisob-kitoblar o'rtacha yillik 30 ming kilometr masofani bosib o'tish shartlarida 2023-yil o'rtacha narxlarida amalga oshirildi. Tyuningli gibridlashtirish bo'yicha turli variantlar o'rganib chiqildi va avtomashina uchun minimal o'zgarishlar hisobiga qo'llaniladigan variant tanlab olindi.

13-rasmda avtomashinani tyuningli gibridlashtirish umumiy ko'rinishi tasvirlangan bo'lib, yuqorida keltirilgan sarf-xarajatlar inobatga olingan. WLTC sharoitida past yonilg'i sarfini tashkil qilish uchun tanlangan parametrlar bo'yicha foydalaniladigan akkumulyator quvvati 35 kW hamda 2 dona 10 kW quvvatga ega HUB e-motor olingan.

Akkumulyator

Quvvati: **35 kVt**

Og'irligi: **90 kg**



HUB e-motor

Quvvati: **2x10 kVt**

13-rasm. Foydalanishdagi avtomashinalarni tyuningli gibridlashtirish namunasi

1-jadvalda HUB e-motorlarning turli avtomashinalar uchun variantlari keltirilgan. Unga ko'ra avtomashina turiga, haydovchi (iste'molchi) talabiga ko'ra tanlash imkoniyatlari mavjud. S, M, M1, L turlariga bo'lingan HUB e-motorlar modifikatsiyasiga ko'ra 13 dyuymli g'ildirakdan 20 dyuymigacha tanlanishi mumkin. Bunda avtomashinaning umumiy og'irligi 500 kg dan 3250 kg gacha diapozonda qamrab olingan. HUB e-motorlarning og'irligi turiga qarab 18–34,5 kg gacha bo'lishini ko'rish mumkin. Shuningdek, maksimal moment ham 400–1500 Nmgacha, maksimal quvvat esa 40 kW dan 110 kW gacha, doimiy quvvat 29–65

kW gacha o'zgarishi mumkin. Albatta, turli modifikatsiyalar narxi ham turli darajada bo'lib, iste'molchi talablariga ko'ra tanlab olinishi mumkin. Bu esa haydovchining avtomashinani boshqarish uslubini to'laqonli ta'minlab berish uchun xizmat qiladi.

1-jadval

HUB e-motor turlari

	S type	M type	M1 type	L type
				
Modeli	S400	M700	M1100	L1500
Avtomobil og'irligi	500-1200 kg	700-1800 kg	1700-2700 kg	2100-3250 kg
G'ildirak radiusi	13" - 14"	15" - 16"	17"	19" - 20"
Nominal kuchlanish	100 V	100 - 400 V	100 - 370 V	350 V
Og'irligi	18 kg	23 kg	40 kg	34,5 kg
Maksimal moment	400 Nm	700 Nm	1100 Nm	1500 Nm
Maksimal tezlik	1560 rpm	1500 rpm	1160 rpm	1250 rpm
Maksimal quvvat	40 kW	75 kW	90 kW	110 kW
Doimiy quvvat	29 kW	50 kW	70 kW	65 kW

Bugungi kunda O'zbekiston bo'yicha atmosferaga ajralib chiqadigan zararli gazlarning 60 foizdan ortig'i avtomashina vositalarining harakatlanishidan hosil bo'ladi (Ekologiya vazirligi ma'lumotlari). Toshkent shahrida esa bu ko'rsatkich 88 foizga yetgan. Vaholanki, bugun O'zbekiston aholisi rivojlangan mamlakatlar aholisiga nisbatan kamroq darajada avtomashinalarga egalik qiladi, ya'ni bu ko'rsatkichlar ichki bozor to'yinishi hisobiga yanada ortish ehtimoli yuqori. Hozirda O'zbekiston aholisi uchun har 1000 kishiga 90 ta, Qozog'istonda 202, Rossiyada 300, Germaniyada 567, AQSHda 910 dona avtomashina to'g'ri keladi. Shu sababga ko'ra O'zbekiston avtomobil bozorida yengil avtomashinalarga bo'lgan talab o'ta yuqori darajada.

Yuqoridagilardan kelib chiqib, aholi elektr avtomashinalarda harakatlanishga o'tishini tavsiya qilish ham mumkin. Lekin elektromobillar narxi yuqoriligi, uzoq masofada harakatlanish imkoniyati cheklanganligi, zaryadlanish vaqtining juda uzoqligi kabi parametrlar uchun sekinlik bilan ommalashmoqda. 2023-yilning 9 oyida 20 mingdan ziyod elektromobil sotib olinganini e'tiborga olsak, to'liq elektromobilga o'tish uchun 100 yilga yaqin vaqt kerak bo'lishini bilish mumkin. Bunda ham masalaning ikkinchi tomoni yuzaga keladi: millionlab elektromobillar harakatlanishi uchun qancha miqdorda elektr energiyasi zarur, bu umumiy elektr

tizimiga ortiqcha yuklanish bermaydimi? Albatta, bu jihatlarni ham inobatga olish kerak bo'ladi. Bundan tashqari, elektromobillar ommalashuvi natijasida mavjud ichki yonuv dvigatelli avtomashinalarning utilizatsiya muammosi kelib chiqish ehtimoli ham mavjud.

Shunga ko'ra, avtotransport vositalari harakatlanishi uchun gibrid tizim kerak degan xulosaga kelish mumkin va bunda iste'molchilar uchun tanlov sifatida gibrid avtomobillar sotib olish bilan bir qatorda mavjud avtomashinalarni gibridlashtirish imkoniyatlari ham berilishi maqsadga muvofiq bo'ladi.

Ikkilamchi bozor avtomashinalari uchun elektrlashtirish imkoniyatlari foydalanishda bo'lgan avtomashinalarni utilizatsiya qilish zaruratini sezilarli kamaytiradi. Shuningdek, olib borilgan tadqiqotlar natijasida tavsiya qilingan texnologiyalar avtomashinaga minimal o'zgartirishlar kiritishni talab qiladi. Bugungi kunda nafaqat O'zbekiston, balki dunyo avtomobil sanoati uchun qo'shimcha xizmatlar sohasida tyuningli gibridlashtirishning iqtisodiy jihatdan bir qancha afzalliklarga ega. Jumladan, hisob-kitoblarga ko'ra HUB e-motor bilan jihozlash xarajatlarini qoplash o'rtacha 30 oygacha bo'lgan muddatni tashkil qiladi. Avtomashina narxidan kelib chiqiladigan bo'lsa, yangi elektromobil yoki gibrid avtomobil xarid qilishdan ko'ra arzonroq bo'ladi. Ayniqsa, shahar sharoitida foydalaniladigan avtomashinalar uchun faqat elektr quvvatda harakatlanish imkoniyatining mavjudligi tavsiya etilayotgan texnologiya iqtisodiy samaradorligini yanada oshiradi. Tyuningli gibridlashtirilgan avtomashinani faqat shahar sharoitlarida, qisqa masofalarda harakatlanish uchun foydalanilganda o'rtacha benzin sarfi shartli ravishda IYoD benzin sarfining 10% miqdorida olinganda, HUB e-motor bilan jihozlash xarajatlarini qoplash muddati benzin turiga qarab 16 oydan 30 oygacha vaqtni tashkil qilmoqda.

Bundan tashqari, taklif etilayotgan texnologiyani ommalashtirish muhim ekologik afzalliklarga ega. Ikkinchi tomondan, gibrid texnologiya qo'llanilishi aynan bir turdagi yoqilg'i resursiga bog'lanish oldini oladi hamda mamlakat energotizimiga ta'siri ham minimal darajada bo'ladi.

XULOSA

Yengil avtomobil yuritmasini tyuningli gibridlashtirish metodologiyasini ishlab chiqish bo'yicha amalga oshirilgan tadqiqotlar natijasida quyidagi xulosalarga kelindi:

1. Yuritmani tyuningli gibridlashtirish samaradorligini baholash mezonlari ishlab chiqilib, bozor talablariga ko'ra mavjud avtomashinalarda gibrid yuritmani tyuningli qo'llash imkoniyatlari asoslandi.

2. Baholash mezonlari ko'rsatkichlarini yaxshilash bo'yicha tyuningli gibrid yuritmasi parametrlarini tanlashning energetik tahlil metodini ishlab chiqilgan. Bunda tyuningli gibridlashtirish amalga oshirilgan avtomashina energetik sarfi sikllarga qarab 35–90% gacha kamaytirilgan.

3. P5 konfiguratsiyali gibrid yuritmalı avtomobil imitatsion modelining yonilg'i va energiya sarflari hisobi usuli ishonchligini eksperimental baholandi.

Bunda ekperimental ma'lumotlar va imitatsiya tajriba natijalarida 2,5–3% farq bilan tajribalar ishonchliligi tasdiqlandi.

4. P5 konfiguratsiyali gibrid yuritmalı avtomobil imitatsion modelining yonilg'i va energiya sarflari hisobi usuli ishonchliligini eksperimental baholandi. Bunda ekperimental ma'lumotlar va imitatsiya tajriba natijalarida 9%dan ko'p bo'lmagan farq bilan tajribalar ishonchliligi tasdiqlandi.

5. Turli harakat sikllarida olib borilgan tajribalar natijalariga ko'ra taklif etilayotgan gibridlashtirish uslubini foydalanishdagi avtomobillarga tyuningli joriy qilish orqali, asosan, shahar sikllarida harakatlanish uchun qulaylik yaratiladi. Bunda HWFET va WLTS harakat sikllarida magistral yo'l harakat qismining ulushi kattaligi sababli, o'rnatilgan P5 konfiguratsiyali elektr motor samarasi 1–30% gacha bo'lishi aniqlandi.

6. G'ildirak ichi elektr motorni (in-wheel HUB e-motor) P5 konfiguratsiyada gibridlashtirish uchun foydalanishdagi avtotransport vositalariga tyuningli joriy qilishda boshqaruv algoritmlari ishlab chiqildi.

7. G'ildirak ichi elektr motorni (in-wheel HUB e-motor) foydalanishdagi avtotransport vositalariga tyuningli joriy qilishda o'zgartiriladigan avtomobil qismlari uning osmalariga ta'sir o'tkazmasligi tajribalar va model hisob-kitoblari orqali tasdiqlandi. Bunda yo'lovchilarga va avtomobil kuzoviga beriladigan tebranish minimal darajada, tavsiya etilgan miqdorda bo'lishi aniqlandi.

8. Olib borilgan tadqiqotlar natijasida tavsiya qilingan texnologiyalar avtomashinaga minimal o'zgartirishlar kiritishni talab qiladi. Bugungi kunda nafaqat O'zbekiston, balki dunyo avtomobil sanoati uchun qo'shimcha xizmatlar sohasida tyuningli gibridlashtirishning iqtisodiy jihatdan bir qancha afzalliklarga ega. Jumladan, hisob-kitoblarga ko'ra HUB e-motor bilan jihozlash xarajatlarini qoplash o'rtacha 30 oygacha bo'lgan muddatni tashkil qiladi.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЁНЫХ СТЕПЕНЕЙ
№ DSc.15/31.08.2022.Т.73.03 ПРИ ТАШКЕНТСКОМ
ГОСУДАРСТВЕННОМ ТРАНСПОРТНОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

**ТУРИНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ В ГОРОДЕ
ТАШКЕНТЕ**

ТУЙЧИЕВ ОЛИМЖОН АЛИЖОНОВИЧ

**МЕТОДОЛОГИЯ ТЮНИНГОВОЙ ГИБРИДИЗАЦИИ ПРИВОДА
ЛЕГКОВОГО АВТОМОБИЛЯ**

05.08.06 – Колёсные и гусеничные машины и их эксплуатация

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации доктора технических наук (Doctor of Science)

Ташкент – 2023 год

Тема диссертации доктора технических наук (DSc) зарегистрирована под номером B2023.4.DSc/T687 Высшей аттестационной комиссией при Кабинете Министров Республики Узбекистан.

Диссертация выполнена в Туринском политехническом университете в городе Ташкенте.

Автореферат диссертации на трёх языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещён на веб-странице Научного совета (<https://tstu.uz/>) и информационно-образовательном портале «Ziyonet» (www.ziyonet.uz).

Научный консультант: **Мухитдинов Акмал Анварович**
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Кадиров Сарвар Мукадирович**
доктор технических наук, профессор
Саломов Уктам Рахимович,
доктор технических наук, профессор
Gianfranco Rizzo (Джианфранко Риццо)
доктор технических наук, профессор

Ведущая организация: **Андижанский машиностроительный институт**

Защита диссертации состоится «20» января 2024 года в 11⁰⁰ часов на заседании Научного совета № DSc.15/31.08.2022.T.73.03 при Ташкентском государственном транспортном университете. (Адрес: 100167, г. Ташкент, улица Темирийулчилар, д. 1. Тел.: (99871) 299-00-01; факс: (99871) 293-57-54; e-mail: rektorat@tstu.uz, tashiit@exat.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного транспортного университета (зарегистрировано под номером ____). (Адрес: 100167, г. Ташкент, улица Темирийулчилар, д. 1. Тел.: (99871) 299-00-01; факс: (99871) 293-57-54; e-mail: rektorat@tstu.uz, tashiit@exat.uz).

Автореферат диссертации разослан «__» _____ 2023 года
(протокол реестра №__ от «__» _____ 2023 года).

А.А.Рискулов
Председатель Научного совета по
присуждению учёных степеней, д.т.н., профессор

К.З.Зияев
Ученый секретарь Научного совета по
присуждению учёных степеней, PhD, доцент

Г.А.Саматов
Председатель Научного семинара при Научном
совете по присуждению учёных степеней,
д.э.н., профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация докторской (DSc) диссертации)

Актуальность и необходимость темы диссертации. В автомобильной промышленности в мире экономия энергоресурсов при использовании автотранспортных средств и, посредством этого, снижение выделяемых в атмосферу количества парниковых газов считается важным фактором для экономического и экологического развития автомобилестроительной промышленности. Эксплуатируемые автотранспортные средства являются основными потребителями горюче-смазочных материалов и на их долю приходится 50-70% выделяемых в мире парниковых газов. Исходя из этого, мировая автомобилестроительная промышленность стремится обеспечить минимальный уровень выделения газов CO₂ из производимых и планируемых автомобилей нового поколения, а также сегодня большинство стран Европы уделяют значительное внимание обеспечению сокращения газов CO₂, выделяемых из автотранспортных средств, не менее чем в 2 раза к 2030 году⁴.

На сегодняшний день крупнейшие компании мира в сфере автомобилестроения в результате дефицита топлива и роста цен на него при проектировании особое внимание уделяют дальнейшим углубленным исследованиям методов применения электрических и гибридных приводов. В этой связи большое значение имеет то, что самым эффективным методом в автомобиле с гибридным приводом со схемой P5 является то, что мощность передается от двигателя внутреннего сгорания и электродвигателя к ведущим колесам по отдельным направлениям. С этой точки зрения, для достижения высокой топливной эффективности одним из важнейших вопросов теоретических и практических исследований считается разработка методов выбора параметров и режимов управления гибридного привода автомобиля в зависимости от требований, предъявляемых к определенным категориям эксплуатируемых автомобилей и режимам их движения.

В настоящее время в нашей стране реализуются широкомасштабные мероприятия, направленные на использование энергосберегающего транспорта, для повышения энергоэффективности при использовании природного сырья. В частности, в новой стратегии развития Узбекистана на 2022-2026 годы отдельно установлены задачи «бесперебойного обеспечения экономики электроэнергией, активного внедрения технологий «зеленой экономики» во все сферы, увеличение энергоэффективности экономики на 20 процентов»⁵. В связи с этим вопросы снижения потерь в промышленных отраслях и повышение эффективности использования ресурсов, принятие мер по производству и использованию электромобилей, сокращение объема выброса вредных газов в атмосферу на единицу ВВП отраслями экономики на 10 процентов, разработки метода для выбора режимов управления привода, обеспечивающего наименьший расход топлива посредством распределения необходимого момента для движения между источниками гибридного

⁴ Robert Bosch GmbH, Bosch Automotive Handbook, 10th Edition, 2018. – 1750 pp, ISBN: 978-1-119-53081-7.

⁵ Указ Президента Республики Узбекистан № УП-60 от 28 января 2022 года «О Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы». Цель 24.

привода автомобиля, и выбора параметров гибридного привода автомобиля по улучшению топливосберегающих свойств, а также совершенствования методов использования имитационных моделей при расчете расхода топлива и энергии автомобиля с гибридным приводом имеют важное значение для науки в данной сфере.

Данное диссертационное исследование в определённой степени служит реализации задач, обозначенных в Постановлениях Президента Республики Узбекистан № ПП-3589 «О мерах по дальнейшему совершенствованию системы управления автомобильным транспортом» от 6 марта 2018 года, № ПП-4477 «Об утверждении стратегии по переходу Республики Узбекистан на «зеленую» экономику на период 2019-2030 годов» от 4 октября 2019 года, № ПП-443 «О мерах по государственной поддержке организации производства электромобилей» от 19 декабря 2022 года и других нормативно-правовых документах.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Данное исследование выполнено в рамках приоритетного направления развития науки и технологий республики III. «Энергетика, энерго- и ресурсосбережение, транспорт, машино- и приборостроение».

Обзор зарубежных научных исследований по теме диссертации⁶.

В целях улучшения топливосберегающих и тягово-скоростных характеристик автомобиля в ведущих университетах и научных лабораториях мира проводятся широкомасштабные теоретические и практические исследования по выбору параметров и режимов управления гибридным приводом автомобиля, в том числе в университете Салерно (Италия), университете Торонто (Канада), Шанхайском университете Цзяо Тун (Китай), Китайском университете Gongkong Shatin (Китай), Центре передовых приводных систем государственного университета Миссисипи (США), Туринском политехническом университете (Италия), университете Саннио (Италия), Оклендский университет (США), Мюнхенском техническом университете, Брауншвейгском техническом университете (Германия), школе электротехники Уханьского университета (Китай), Тегеранском университете (Иран), университете Кампинаса (Бразилия) и других.

В мировом масштабе получены следующие важнейшие научные результаты по выбору параметров и режимов работы гибридного привода автомобиля, в том числе: применение гибридных приводов в автомобилях, использование в качестве режима управления ими режимов, которые основаны на логических правилах, разработаны методы выбора параметров гибридного привода автомобилей (Техасский университет сельского хозяйства и механики, США); разработаны модели движения автомобилей с гибридным приводом различной конфигурации, рассмотрены возможности применения режимов управления, основанных на динамическом

⁶www.tamu.edu, www.ethz.ch, www.polito.it, www.stanford.edu, www.tum.de, www.tu-braunschweig.de, www.anl.gov, avt.inl.gov, www.osu.edu, www.clemson.edu, www.polimi.it, www.kth.se, www.chalmers.se

программировании (Швейцарская высшая техническая школа Цюриха, Швейцария); разработаны режимы управления с использованием принципа минимума Понтрягина (университеты Огайо и Стэнфорда, США); изучено влияние конфигурации гибридного привода на энерго-экологические показатели автомобиля и разработано конструктивное решение двухмуфтовой трансмиссии, обеспечивающее улучшение динамических и топливосберегающих характеристик автомобиля (Брауншвейгский технический университет, Германия).

Степень изученности проблемы. В проектирование гибридных приводов автомобиля и совершенствование режимов их работы, а также в выбор параметров внесли большой вклад ряд известных зарубежных ученых, таких как М. Ehsani, А. Emadi, Liu K, Z. Rahman, L. Guzzella, Noshirwan K, G. Rizzo, F.Tiano, S. Onori, N. Amati, Т. Hofman, F. Kucukay, А. Sciarretta, O. Sundström и другие.

В нашей республике из известных учёных данной сферы науки исследованиями тягово-скоростных и топливосберегающих характеристик двигателя и автомобиля в различных условиях эксплуатации, топливных, трансмиссионных и мехатронных блоков управления занимались С.М.Кодиров, Ш.П.Алимухамедов, Б.И.Базаров, Ж.Р.Кулмухамедов, А.А.Мухитдинов, Ж.Ш. Иноятходжаев, С.Рузимов и другие. В результате проведенных научных исследований в целях улучшения эксплуатационных показателей автомобилей с различными двигателями в условиях жаркого и сухого климата, обеспечения наиболее высоких разгонных и топливосберегающих характеристик, скоординированного управления двигателем и бесступенчатой трансмиссией, достигнуто улучшение топливосберегающих характеристик с использованием нейронных сетей в мехатронных системах управления двигателем.

Несмотря на то, что в этих исследованиях детально изучены пути и методы улучшения вышеуказанных характеристик автомобиля, в эксплуатируемых автомобилях не исследованы теоретические основы и методика процессов тюнинговой гибридизации за счет минимальных изменений. А также недостаточно изучены научные основы выбора параметров и режимов управления тюнингового гибридного привода автомобиля.

Связь диссертационного исследования с планом научно-исследовательских работ высшего учебного заведения, в котором выполнена диссертация. Отдельные разделы диссертационного исследования выполнены в рамках проектов, в которых диссертант выступал в качестве ответственного исполнителя, в следующих научно-исследовательских работах: 18.11 «Энергосбережение и охрана окружающей среды посредством применения гибридного привода в автомобиле» (2003-2005 гг.), А-13-068 «Научные основы выбора параметров и режимов управления перспективной конструкции автомобиля по экономии топлива и экологической безопасности» (2006-2008 гг.).

Целью исследования является разработка научных основ по выбору

параметров гибридизации и режимов управления для повышения топливной эффективности и экологической безопасности автомобиля вторичного рынка.

Задачи исследования:

обоснование критериев оценки эффективности гибридизации привода;
разработка метода энергетического анализа по выбору параметров тюнингового гибридного привода для улучшения показателей критериев оценки;

разработка программы расчёта по оценке энергоэффективности автомобиля с гибридным приводом конфигурации P5;

разработка метода выбора закономерностей управления тюнингованным автомобилем с гибридным приводом;

экспериментальная оценка достоверности метода расчета расхода топлива и энергии имитационной модели автомобиля с гибридным приводом конфигурации P5;

разработка рекомендаций по выбору параметров и режимов управления гибридного привода тюнингованного автомобиля.

Объект исследования – легковой автомобиль с гибридным приводом параллельной конфигурации (P5).

Предметом исследования являются параметры и режимы управления тюнингованного автомобиля с гибридным приводом.

Методы исследования. В процессе исследования использованы методы расчета динамики и экономии топлива автомобиля, оптимизационный, регрессионный анализ с несколькими переменными, методы математической статистики и имитационного моделирования.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

усовершенствованы тягово-скоростные и энерго-экологические показатели автомобиля за счет использования тюнингованного гибридного привода;

разработана методика выбора закономерностей управления, которая взаимно координирует имеющийся привод автомобиля с тюнингованным гибридным приводом;

для достижения высокой топливной эффективности разработана методика выбора параметров привода путём подбора показателей мощности компонентов гибридного привода автомобиля;

усовершенствованы параметры и закономерности управления тюнингованным гибридным приводом автомобиля с конфигурацией P5 с помощью программы для расчета оценки энергоэффективности привода;

достоверность программы расчета автомобиля с тюнингованным гибридным приводом обоснована посредством сравнения результатов динамометрического стенда автомобиля и частей привода;

разработаны рекомендации по повышению технико-экономической эффективности замены имеющегося привода автомобиля на гибридный привод P5 посредством выбора параметров привода.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

обоснован метод выбора в процессе тюнинга параметров и режимов

управления гибридного привода, обеспечивающего достижение наименьшего потребления топлива;

путем расчета энергии, необходимой для движения автомобиля в типовых циклах, создан метод надлежащего определения источника электроэнергии гибридного привода;

показана возможность управления разработанными методиками с приспособлением электрокомпонентов автомобиля к существующему двигателю внутреннего сгорания в определённых условиях движения.

Достоверность результатов исследования. Достоверность результатов исследований подтверждается их соответствием экспериментальным данным ведущих лабораторий мира и результатам, опубликованным в ведущих научных изданиях данной сферы.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Научная значимость исследования обосновывается разработанным методом выбора параметров и режимов управления гибридного привода автомобиля.

Практическая значимость полученных результатов заключается в экономии топливно-энергетических ресурсов за счёт выбора параметров и режимов управления гибридного привода в процессе проектирования автомобиля. Кроме этого, метод выбора параметров гибридного привода автомобиля позволяет подобрать подходящие модели автомобиля для определённых условий движения.

Внедрение результатов исследования. На основе полученных результатов при разработке научных основ выбора параметров и режимов управления гибридизации для повышения топливной эффективности и экологической безопасности автомобиля вторичного рынка:

внедрены методика выбора закономерностей управления, которые приводят во взаимное соответствие привода автомобиля, имеющегося в системе АО «Узавтосаноат», с тюнингованным гибридным приводом, методика выбора параметров привода путем подбора показателей мощности компонентов гибридного привода автомобиля для достижения высокой топливной эффективности, а также программа для расчета оценки энергоэффективности привода для совершенствования параметров и закономерностей управления тюнингованным гибридным приводом автомобиля с конфигурацией P5 (справка №19/04-25-1586 АО «Узавтосаноат» от 18 октября 2023 года). В результате при проектировании или выборе новых моделей эксплуатируемых автомобилей создана возможность для выбора их конструктивных параметров и режимов управления, оценки энергоэффективности автомобиля и определения потребления топлива в определенных условиях движения.

Апробация результатов исследования. Результаты диссертационной работы изложены в виде докладов и обсуждены на 4 международных и 4 республиканских научно-технических конференциях.

Публикация результатов исследования. По теме диссертации опубликовано всего 21 научные работы, из них 11 статей в научных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики

Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертаций доктора наук (DSc), в том числе 6 научных статей в республиканских и 5 статей в зарубежных журналах. Из них 11 статей опубликованы в журналах и сборниках с высоким импакт фактором.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объём диссертации составляет 148 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во вводной части обоснована актуальность и необходимость научно-исследовательской работы по использованию тюнинг-системы в автомобилях с гибридным приводом. Показаны основные цели и задачи работы, объект и предмет исследования, его соответствие приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан. Обоснованы научная новизна работы и основные результаты исследований по выбору параметров и режимов управления автомобилями с гибридным приводом, их научная и практическая значимость. Также, приведены общие сведения о практическом применении результатов диссертационной работы, опубликованных работах по теме и структуре диссертации.

В первой главе диссертации, озаглавленной «**Современные конструкции автомобиля с гибридным приводом**», рассмотрено современное состояние проблемы снижения расхода топлива автомобиля путем выбора параметров и режимов управления гибридным приводом автомобиля и приведён обзор научных работ, осуществлённых по данной теме.

Исходя из этого, рассмотрены имеющиеся методы выбора параметров и режимов управления гибридным приводом автомобиля, современные достижения техники и технологий по решению данной проблемы.

Улучшением топливной экономичности и тягово-скоростных характеристик автомобиля путем выбора параметров гибридного привода и режимов управления занимались такие зарубежные научные исследователи как А. Эмади, М. Эхсани, Лиу К., З. Рахман, Л. Гуззелла, Ноширван К., Г. Риццо, Ф. Тиано, С. Онори, Н. Амати, Т. Хофман, Ф. Куцукаи, А. Шарретта, О. Сундстрем и другие.

Исследованиями различных условий эксплуатации тягово-скоростных и топливосберегающих характеристик автомобилей и двигателей, топлива, трансмиссии и мехатронных блоков управления занимались такие известные ученые, как С.М. Кадыров, Ш.П. Алимухамедов, Б.И. Базаров, Ж.Р. Кулмухамедов, А.А. Мухитдинов, Ж.Ш. Иноятходжаев, С. Рузимов и другие.

Хотя в исследованиях этих авторов широко освещены пути и методы улучшения характеристик автомобилей, использование гибридных приводов в имеющихся автомобилях (тюнинг-гибридизация) открывает новые возможности для улучшения топливной экономичности и тягово-скоростных характеристик.

Анализ существующих схем гибридных приводов автомобиля показал, что конфигурация P5 является наиболее перспективной конструкцией для гибридизации. Этот выбор объясняется в основном возможностью приспособления параметров привода к автомобилям различных масс, применением к существующей конструкции и работы во всех режимах, относительной простотой (возможностью минимальных изменений). Кроме того, данная конфигурация гибридного привода отличается практической несложностью изменения степени гибридизации. В настоящее время на основе анализа 110 автомобилей с гибридным приводом, имеющихся в производстве,

было установлено следующее: максимальная мощность двигателя внутреннего сгорания (ДВС) в них отвечает требованиям минимального ускорения автомобиля (рис. 1); используются рабочие объемы не меньше тех, которые используются в автомобилях с обычным приводом; в более 60% этих автомобилей использованы аккумуляторы емкостью 1-2 кВт/ч.

С течением времени возросшее доверие к электромобилям нашли отражение в том, что все больше людей покупают автомобили с электромотором. Пять лет назад, в 2018 году, население Узбекистана приобрело в общей сложности 13 электромобилей, а к 2022 году этот показатель достиг 2180 единиц (рис. 1). Конечно, во-первых, это связано с повышением уровня жизни населения, а во-вторых, это непосредственно связано с увеличением количества электромобилей на мировом авторынке, усилением конкуренции, в результате этого со значительным снижением цен на электромобили.

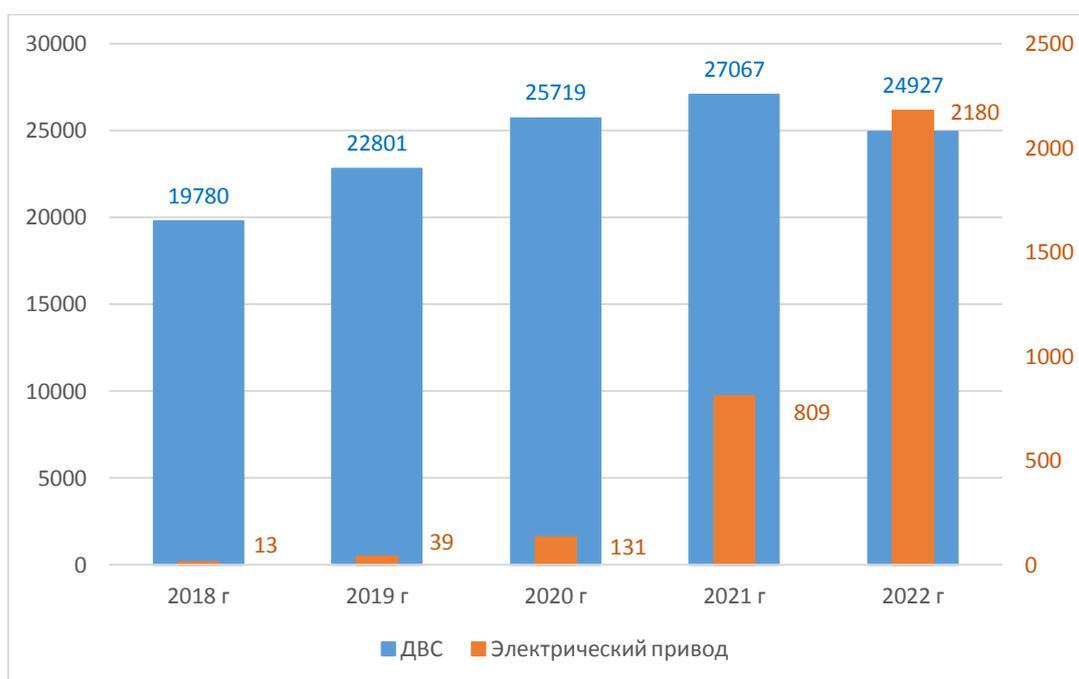


Рисунок 1. Статистика импорта автомобилей в Узбекистане в 2018-2022 годах

Поскольку количество имеющихся у населения транспортных средств увеличивается, увеличивается и спрос на топливную продукцию. Если взять на примере бензина, в 2021 году отечественными производителями было произведено 1,0 миллиарда литров бензина общей стоимостью 575 миллионов долларов США, а в 2022 году этот показатель равен 1,2 миллиарда литров стоимостью 690 миллионов долларов США, то есть темп роста составил 20%. В 2021 году было импортировано 190 миллионов литров бензина общей стоимостью 68,75 миллиона долларов США, а в 2022 году импорт увеличился на 90% до 361 миллиона литров бензиновой продукции стоимостью 130 миллионов долларов США. Также 65% юеющихся в нашей стране автомобилей оснащены установками сжатого природного газа и потребляют природный газ.

При анализе темпов производства автомобилей в Узбекистане в 2018-2022 годах общий объем производства за 5 лет возрос 128 000 до 295 000. Также по результатам анализа существенно выросла доля автомобилей В-класса (среднего). Особенно в среднем сегменте возрос спрос на автомобили типа седан, таких как Cobalt и Gentra, соответственно производство увеличилось с 20 000 до 90 000 автомобилей в год. Анализ существующих научных исследований показывает, что сегодня не имеются научные основы для выбора параметров гибридного привода и режимов управления, обеспечивающих наименьший расход автомобиля при сохранении динамических характеристик автомобиля. Исходя из этого, с учетом различных требований необходимо разработать научные основы выбора параметров тюнинговой электрификации и режимов управления гибридным приводом автомобиля, позволяющих добиться оптимальной топливной эффективности для различных условий движения.

Во второй главе диссертации под названием **«Теоретические основы для выбора параметров компонентов гибридного привода автомобилей»** рассмотрены теоретические основы моделирования движения гибридного привода автомобиля в стандартных циклах, модели компонентов привода и вопросы разработки имитационной модели. Также были проанализированы имеющиеся методы выбора параметров и режимов управления автомобилем с гибридным приводом.

Использование режимов управления на основе методов оптимизации позволяет исключить их влияние на выбор параметров гибридного привода автомобиля. Основными параметрами гибридного привода являются: максимальная мощность двигателя внутреннего сгорания и электротранспортное средство, а также мощность тягового аккумулятора. Для достижения наименьшего расхода топлива при определенных условиях движения и чтобы определить параметры гибридного автомобиля, необходимо проанализировать влияние этих параметров на расход топлива автомобиля. Изменяя эти параметры, можно найти комбинацию параметров, отвечающую всем динамическим требованиям и в то же время имеющую наименьший расход топлива.

Выбор вида движения осуществляется путем выбора одного из видов городского ($HS=1$) или магистрального ($HS=2$) движения. На практике этот процесс может быть выбран водителем нажатием нужной кнопки. При этом подразумевается использование электропривода при движении автомобиля по городу. В магистральном цикле тяговый режим осуществляется двигателем внутреннего сгорания.

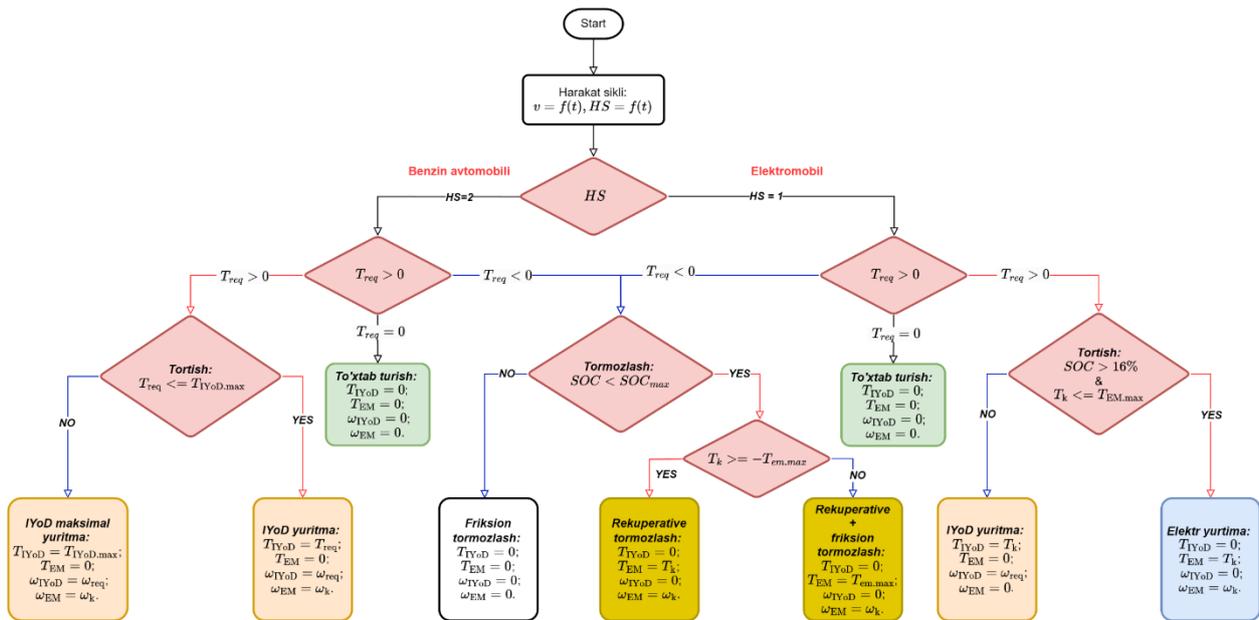


Рисунок 2. Алгоритм управления разработанным гибридным двигателем

Выбор режимов движения определяется в зависимости от значения требуемого крутящего момента T_{req} . При этом $T_{req} > 0$ означает режим тяги, и необходимо выбрать источник энергии, необходимый для тяги. $T_{req} = 0$ означает режим остановки. В режиме торможения этот крутящий момент имеет отрицательное значение, то есть $T_{req} < 0$.

При выборе водителем режима $HS=1$ (городской) согласно заданному алгоритму обеспечивается движение в электроприводе. В этом случае требуется одновременное соблюдение нескольких условий. Если все введенные условия не будут полностью выполнены, автомобиль автоматически перейдет в режим $HS=2$ (трасса). Для движения с электроприводом необходимо, чтобы:

- 1) условие $SOC > 16\%$, т.е. уровень заряда электроаккумулятора должен быть выше заданной величины (например, 16%);
- 2) $T_k \leq T_{EMmax}$, т.е. T_k крутящий момент колеса должен быть равен или меньше крутящего момента электропривода.

После выбора режимов движения, если $T_{req} < 0$, т.е. когда крутящий момент имеет отрицательное значение, производится торможение. При этом согласно нескольким условиям процесса торможения может работать *рекуперативный*, *фрикционный* или *рекуперативно-фрикционный* режим торможения.

При выполнении условия $SOC < SOC_{max}$, то есть когда уровень заряда аккумулятора меньше заданной величины, срабатывает *рекуперативное* торможение. При невыполнении вышеуказанного условия осуществляется *фрикционное* торможение. В случае $T_k \geq -T_{em.max}$, когда тормозной момент на колесе больше или равен максимальному крутящему моменту электродвигателя, срабатывает *полное рекуперативное* торможение. При невыполнении этого условия осуществляется *рекуперативное + фрикционное* торможение.

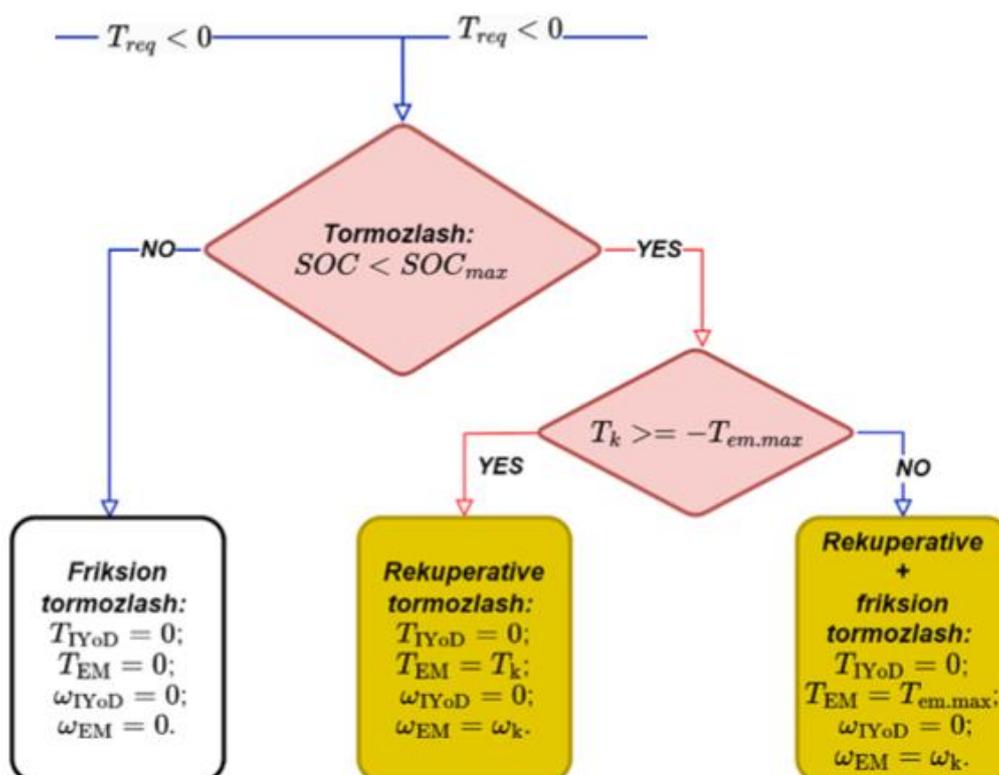


Рисунок 3. Условия торможения

Одним из основных факторов при выборе той или иной марки и модели автомобиля является расход топлива. Однако производители автомобилей указывают в паспорте неточные показатели действительной эксплуатации. Частично это связано с использованием во время заводских испытаний ездовых циклов, которые не отражают фактическое ограничение скорости в соответствующих (типичных) условиях. Особенно это актуально для городских условий. Известно, что даже в условиях одной страны состояние дорог в городах, сравниваемых по территории и плотности населения, протяженности дорожной сети, без учета средней скорости движения и разницы в его продолжительности, существенно различаются на разных этапах (разгон, движение с постоянной скоростью, торможение и остановка в мегаполисах и небольших городах).

Известно, что получение искусственных нормальных циклов движения является трудоемким процессом, и зачастую полученная схема скорости уже не подходит к изменяющимся дорожным условиям. Например, европейский цикл NEDC, который используется до сих пор, был разработан в 1980-х годах. Однако сохраняется потребность в адекватных типичных ездовых циклах, полученных из статистических данных за определенные периоды времени. Для решения задачи долгосрочных экспериментальных исследований можно использовать современные базы данных онлайн-спутникового мониторинга, которые широко распространены во всем мире.

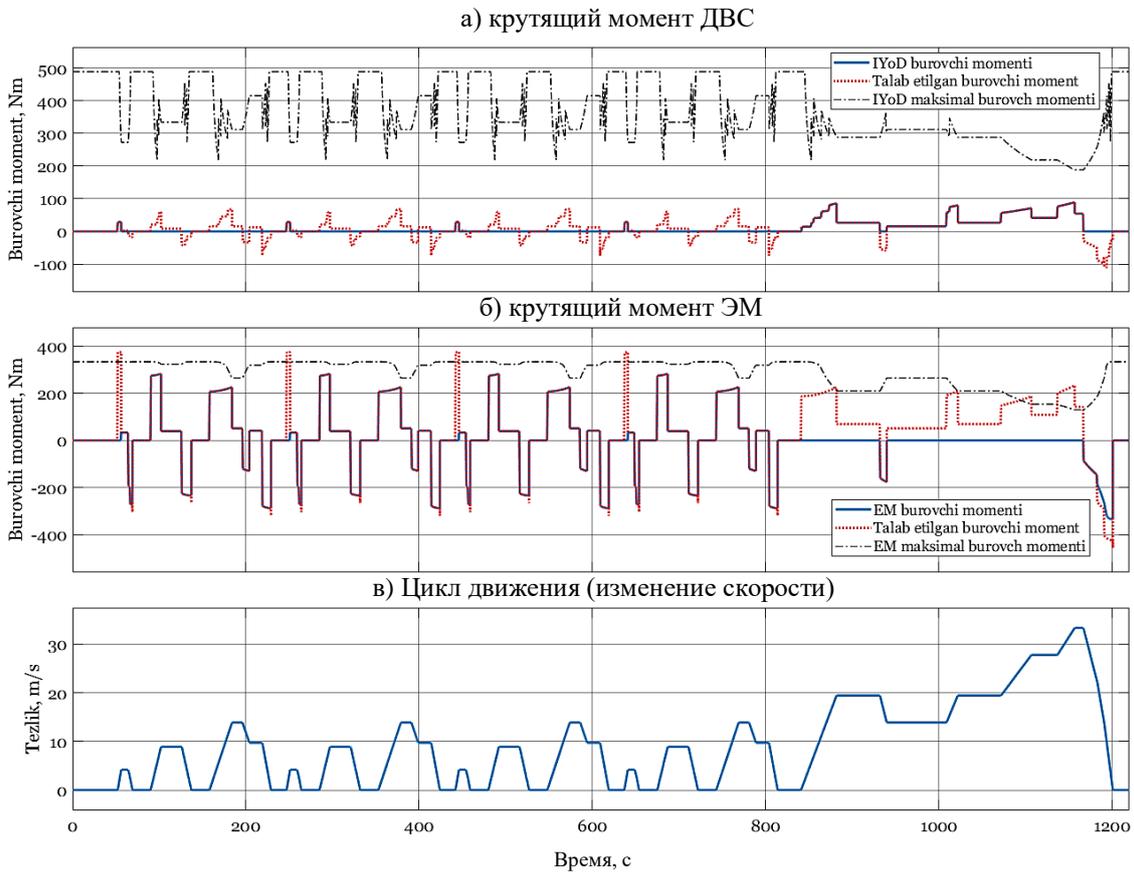


Рисунок 4. Цикл движения NEDC

а) На этом графике в цикле движения NEDC максимальный крутящий момент ДВС ($T_{IYoD.max}$) обозначен черной прерывной линией. Требуемый крутящий момент (T_{req}) обозначен красной пунктирной линией. Крутящий момент, заданный ДВС (T_{IYoD}), представлен синей сплошной линией.

б) На этом графике в цикле движения NEDC максимальный крутящий момент ДВС ($T_{IYoD.max}$) обозначен черной пунктирной линией, максимальный крутящий момент ЭМ ($T_{EM.max}$) представлен черной пунктирной линией. Требуемый крутящий момент на колесах (T_k) обозначен красным пунктиром. Крутящий момент, заданный ЭМ (T_{EM}), представлен непрерывной синей линией.

в) Этот график NEDC представляет изменение скорости во время цикла движения.

Для синтеза цикла движения на основе отчетов о скорости движения, создаваемого всеми серверами систем мониторинга, в качестве статистического материала подходят только те, которые имеют достаточно короткий период обновления. Однако режимы скорости, полученные с текущей минимальной частотой обновления скорости в одну секунду, также требуют предварительной обработки. Это связано с тем, что значения скорости рассчитываются системой GNSS на основе координат, полученных со спутника, и дают значительную локальную погрешность, которая может быть, как положительной, так и отрицательной. Для этого можно использовать увеличение данных с помощью средств анализа спектральных данных,

например, трансформация Wavelet. Приближение данных GNSS-мониторинга до определенной детализации позволяет сгладить границы по всей площади профиля скорости.

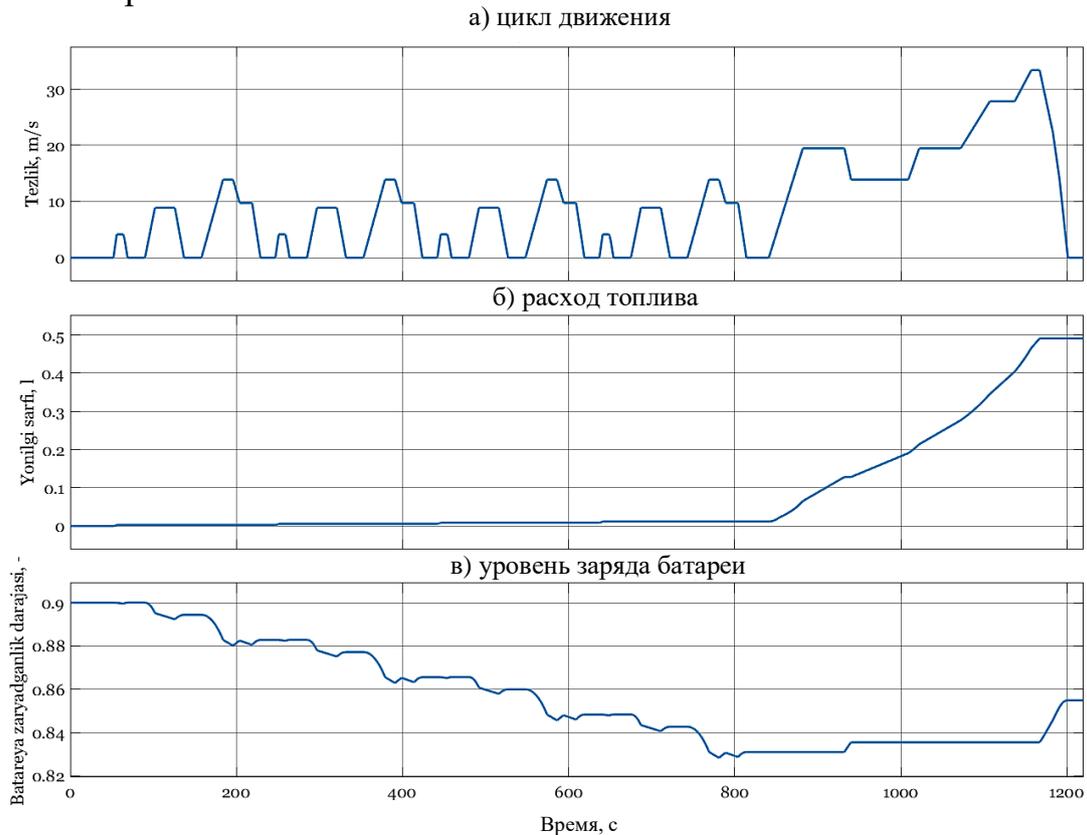


Рисунок 5. Цикл движения NEDC: а) Цикл движения б) Расход топлива в) Степень заряженности батареи

На графиках мы видим, что необходимый крутящий момент для полного движения обеспечивает ДВС, при этом требуемый крутящий момент больше крутящего момента электрической машины. В этом случае крутящий момент ЭМ равен нулю. Как видно из графика, в магистральной части цикла NEDC (после 800-й секунды) электрическая машина вообще не участвует, наоборот, ДВС обеспечивает полный необходимый крутящий момент. Видно, что в течение всего цикла движения крутящий момент ЭМ активно участвует в диапазоне от -250 до 250 требуемого крутящего момента. Следовательно, в этом диапазоне ЭМ работает в режиме тяги в положительном состоянии крутящего момента, в отрицательном состоянии в режиме рекуперации. Через 800 секунд обеспечивает только рекуперативное торможение. В интервале 1000-1200 секунд кривая крутящего момента ДВС накладывалась на кривую требуемого крутящего момента. Это означает, полное обеспечение необходимого крутящего момента двигателя внутреннего сгорания в этом диапазоне. Именно в этот промежуток крутящий момент ЭМ не участвовал. В интервале 1000–1200 секунд скорость достигала 80–110 км/ч. Через 1000 секунд можно наблюдать резкое изменение расхода топлива из-за того, что ДВС работает преимущественно в режиме магистрального движения. В городской части цикла движения уровень заряда аккумулятора (SOC) преимущественно снижается (до 800 секунд). В режиме магистрального

движения можно наблюдать увеличение заряда аккумулятора, в основном за счет процессов рекуперативного торможения ЭМ. Также можно наблюдать резкое увеличение скорости автомобиля в диапазоне резкого увеличения расхода топлива ДВС, а это значит, что тюнинг-гибридный режим выбирает различные источники питания (ЭМ или ДВС) при разных скоростях и крутящих моментах.

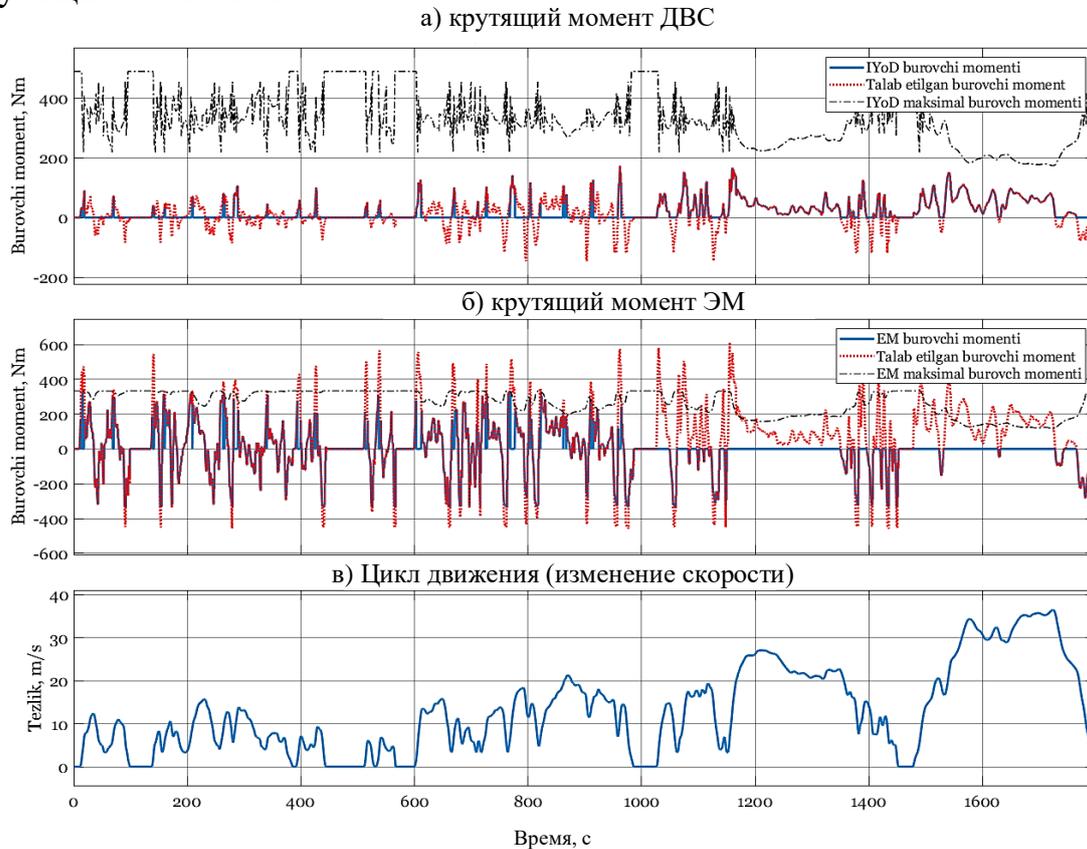


Рисунок 6. Цикл движения WLTC: а) крутящий момент ДВС, б) крутящий момент ЭМ и в) график изменения скорости по циклу движения

а) На этом графике в цикле движения WLTC максимальный крутящий момент ДВС ($T_{IYoD.max}$) представлен черной пунктирной линией. Требуемый крутящий момент (T_{req}) обозначен красной пунктирной линией. Крутящий момент, заданный ДВС (T_{IYoD}), представлен синей сплошной линией.

б) На этом графике в цикле движения WLTC максимальный крутящий момент ДВС ($T_{IYoD.max}$) представлен черной точка-пунктирной линией, максимальный крутящий момент ЭМ ($T_{EM.max}$) черной точка-пунктирной линией (.....). Требуемый крутящий момент на колесах (T_k) обозначен красным пунктиром (.....). Крутящий момент, заданный ЭМ (T_{EM}), представлен непрерывной синей линией (—).

в) Этот график в цикле движения WLTC представляет изменение скорости.

Мы видим, что необходимый крутящий момент для полного движения обеспечивает ДВС, при этом требуемый крутящий момент больше крутящего

момента электрической машины. В этом случае крутящий момент ЭМ равен нулю.

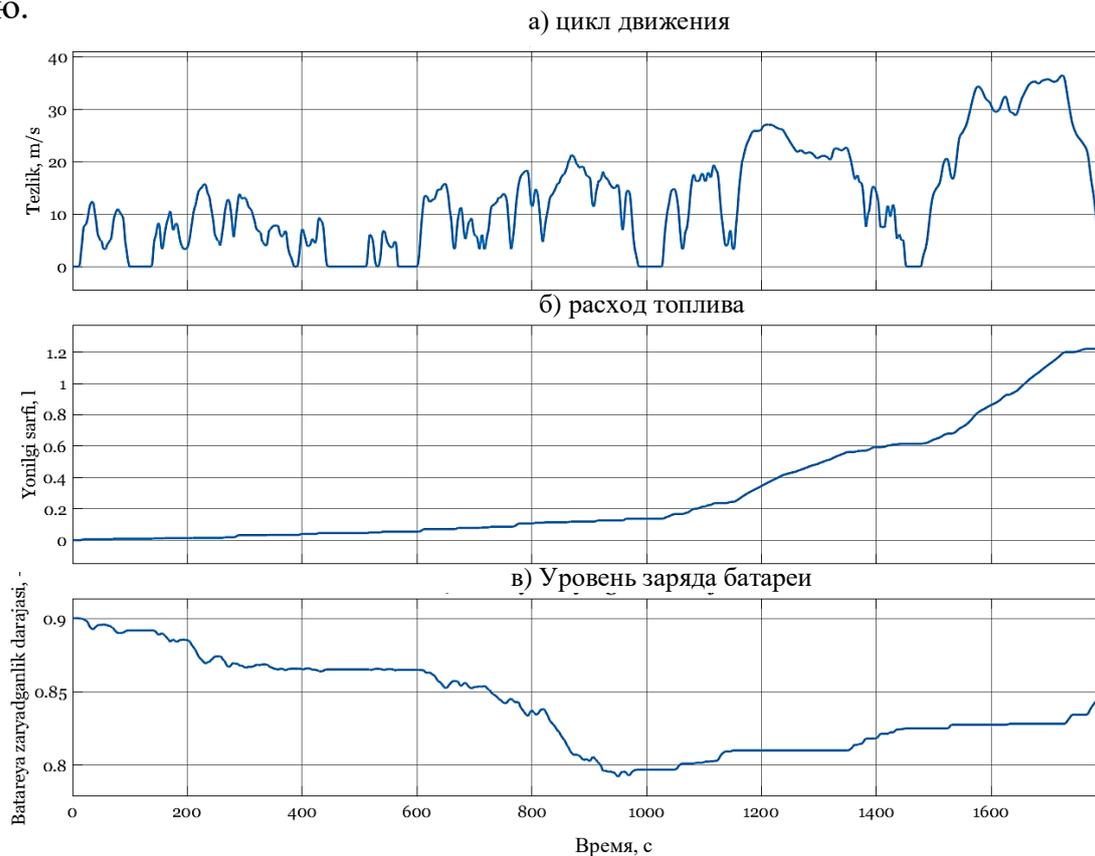


Рисунок 7. Цикл движения WLTC: а) изменения скорости в цикле движения, б) изменение расхода топлива в цикле движения, с) степень заряженности батареи

Как видно из графика, в магистральной части цикла WLTC электромашина вообще не участвует, наоборот, ДВС обеспечивает полный необходимый крутящий момент. В магистральном цикле только в процессе торможения ЭМ работает в режиме рекуперативного торможения. При этом в некоторых случаях осуществляется рекуперативное + фрикционное торможение. При сравнении графиков *а*, *б* и *в* выясняется, что в случае, описанном на графике *б*, через 1000 секунд крутящий момент ЭМ изменился до нуля и отрицательного значения. Когда требуемый крутящий момент падает до отрицательного значения -250 Нм, он соответствует крутящему моменту ЭМ. При значении ниже -250 Нм изображается только необходимый крутящий момент. Исходя из этого, можно сказать, что при необходимом крутящем моменте -250 Нм происходит рекуперативное торможение, а ниже наблюдается фрикционное торможение.

Через 1000 секунд можно наблюдать резкое изменение расхода топлива из-за того, что ДВС работает преимущественно в режиме магистрального движения. В городской части цикла движения наблюдается снижение в основном уровня заряженности батареи (SOC). В магистральном режиме движения в основном может наблюдаться увеличение заряда аккумулятора за счет процессов рекуперативного торможения ЭМ.

На рисунках также показаны цикл движения UDDS: а) крутящий момент ДВС, б) крутящий момент ЭМ и в) график изменения скорости по циклу движения. При этом:

На этом графике в цикле движения UDDC максимальный крутящий момент ДВС ($T_{IYOD.max}$) представлен черной точка-пунктирной линией (.....). Требуемый крутящий момент (T_{req}) обозначен красной пунктирной линией (.....). Крутящий момент, заданный ДВС ($T_{ДВС}$), представлен синей сплошной линией (—).

В подвесной конструкции удобство вождения и сохранение равновесия на дороге считаются достойными внимания. В автомобилях с гибридным приводом (P5) двигатель внутри колеса вызывает вес, входящий в неизмененную массу, что может отрицательно сказаться на стабильной работе подвески. В этой главе отношение неподвешенной массы к подвешенной массе определяется как отношение масс m . На рис. 8 показано влияние m на ускорение кузова автомобиля и реакции частоты поворота шин.

Ограничения — это неизменные точки, которые существуют в функции перехода от вертикальной скорости дороги к вертикальной скорости дороги или в других связанных передаточных функциях. Хотя реакции частоты в этих конкретных точках не изменяются, иногда изменяются параметры автомобиля, например, остановка, жесткость и демпинг. Неизменная точка отмечена черной точкой на частотном ответе ускорения кузова автомобиля [1]. Эта точка называется фиксированной инвариантной точкой fixed invariant point (FIP). FIP — это фиксированная точка, которая зависит только от жесткости шины, массы с подвеской и без нее, но не от жесткости подвески, демпинга или активной возбуждающей силы. Другими словами, виды подвесок, включая управляемые и неуправляемые подвески, не влияют на частоту неизменной точки FIP. Следовательно, невозможно уменьшить колебания массы, распространяющиеся в резонансе второй степени. Значит, несмотря ни на что, неуправляемый подвес и управляемый подвес не могут полностью устранить негативное влияние невращения.

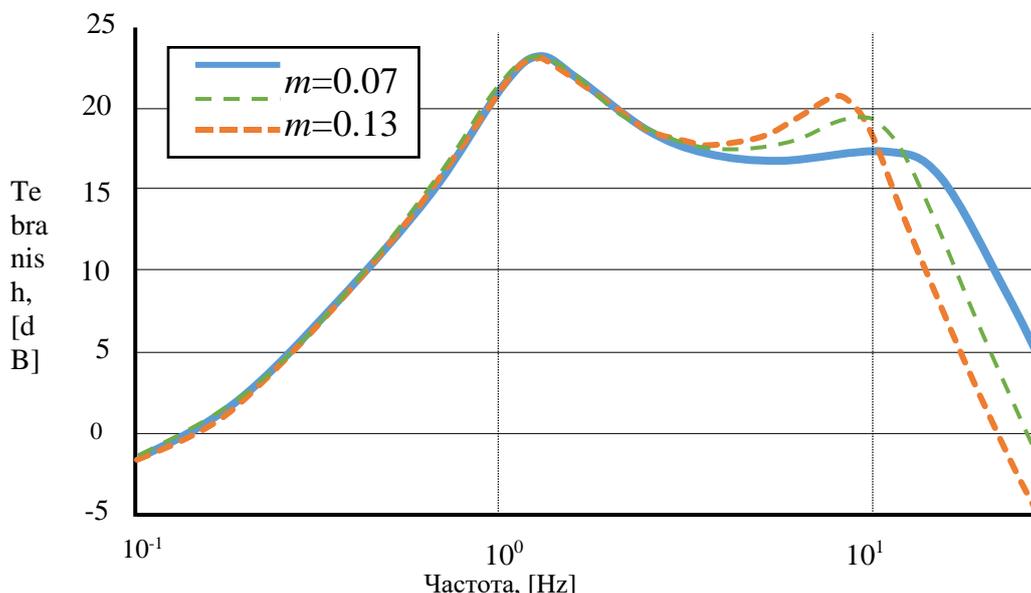


Рисунок 8. Влияние соотношений масс: ускорение кузова

Как показано на рис. 8, это обеспечивает увеличение ускорения избыточной массы на m вокруг резонанса 2-го порядка. И наоборот, резонансная частота второго порядка уменьшается с увеличением m . Обратите внимание, что люди наиболее чувствительны к вертикальному ускорению в районе 4–8 Гц. Аналогичным образом, как показано на рисунке 9, малая масса приводит к значительному увеличению поворота шины вокруг резонанса второго порядка, что отрицательно сказывается на сцеплении с дорогой.

В целом, с помощью управляемых подвесок можно улучшить вертикальную динамику автомобиля. Таким образом, управляемая подвеска является лучшим выбором для устранения побочных эффектов из-за его хороших характеристик и применения. Однако эффективность управляемой подвески при резонансе второго порядка ограничена ограничениями, присущими четвертному автомобилю второй степени свободы (2-DOF) (см. рис. 9).

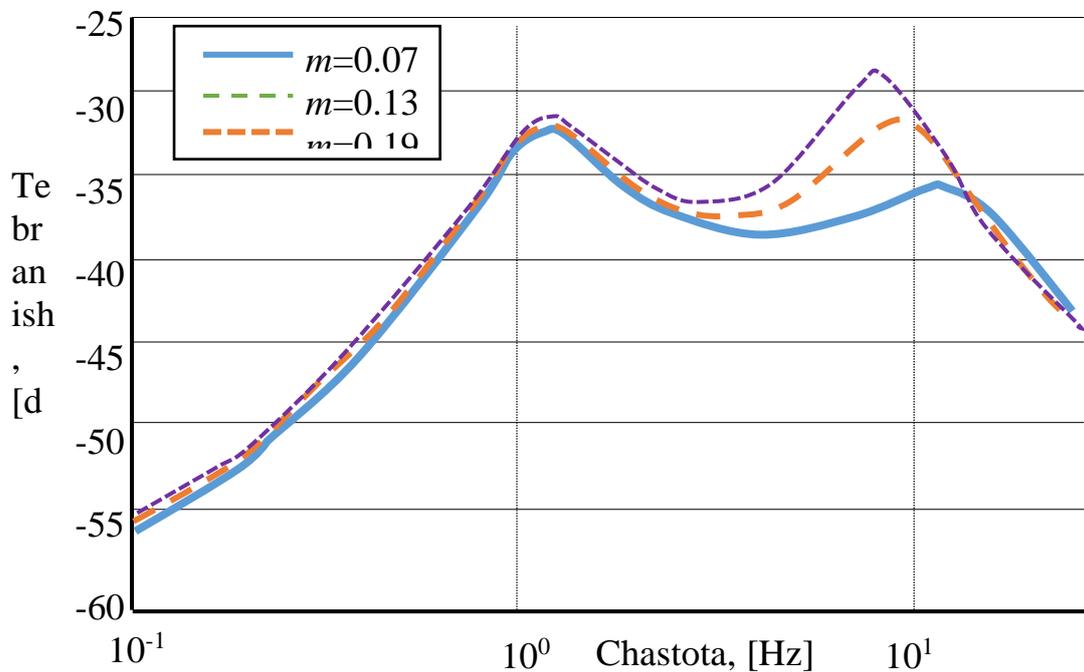


Рисунок 9. Влияние соотношения масс: прогиб шины

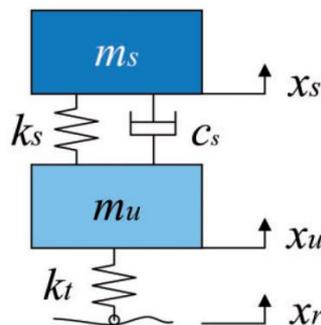


Рисунок 10. Модель автомашины 2-DOF (свобода 2-ой степени)

Виброакустический комфорт автомобиля представляет собой одно из важнейших воспринимаемых качеств автомобиля и поэтому зависит от субъективного мнения клиента. Другими характеристиками автомобиля, субъективно связанными с человеком, являются стиль, эргономика, тепловой комфорт, активная и пассивная безопасность, движение, расход топлива и др.

В третьей главе, посвященной «Экспериментальным исследованиям», разработанные математические и имитационные модели в программе Matlab/Simulink при оценке надежности сравнивались с результатами экспериментальных исследований, проводимых ведущими лабораториями мира. Эти экспериментальные результаты были получены Национальной лабораторией NVFEL (National Vehicle and Fuel Emissions Laboratory) США на автомобиле Toyota Camry LE 2018 года и Аргоннской национальной лабораторией (Argonne National Laboratory) на электромобиле Kia Soul 2015 года. Также, были использованы результаты экспериментов с аккумулятором, полученные в отделе перспективных транспортных средств Национальной лаборатории Айдахо (Idaho National Laboratory).

В автомобилях с гибридным приводом электромашина работает в режимах тяги (электродвигатель) и торможения (генератор). В режиме генератора электромашина производит электроэнергию и заряжает аккумулятор.

При всесторонней оценке тягово-скоростных и топливно-экономических характеристик автомобиля с гибридным приводом достаточно включить создаваемые в модели тягового электрического аккумулятора такие параметры, как мощность, запас энергии, ограничения в процессе зарядки и разрядки, КПД цикла зарядки/разрядки, выполняемого в тяговом режиме..

Существующие модели позволяют оценивать различные свойства ТАБ, но, как уже говорилось выше, они изображены сложным математическим аппаратом.

В этой модели сила тока (Ye), при разряде R_{dch} являются внутренним сопротивлением и при заряде R_{ch} функциями уровня заряда ТАБ, т.е.

$$E = f(SOC), R_{dch} = f(SOC) \text{ и } R_{ch} = f(SOC)$$

Как известно из курса электротехники, сила тока равен следующим:

В режиме зарядки аккумулятора:

$$E = U_{term} - I_b \cdot R_{ch} \quad (1)$$

Или это уравнение может быть записано в виде баланса мощности:

$$EI_b = U_{term} \cdot I_b - I_b^2 \cdot R_{ch} \quad (1)$$

или

$$P_b = P_{term} - I_b^2 R_{ch} \quad (3)$$

$$\text{Где } P_{term} = P_{gen} \cdot \eta_{gen} \quad (4)$$

В режиме разрядки аккумулятора:

$$E = U_{term} + I_b \cdot R_{dch} \quad (5)$$

Или уравнение (23) может быть записано в следующей форме:

$$EI_b = U_{term} \cdot I_b - I_b^2 \cdot R_{dch} \quad (6)$$

$$P_b = P_{term} - I_b^2 R_{dch} \quad (7)$$

$$P_{term} = \frac{P_{motor}}{\eta_{motor}} \quad (8)$$

Производители аккумуляторов предусматривают следующие ограничения для предотвращения повреждений аккумуляторов [14]:

1. Ограничение по максимальному значению тока разряда ($I_{max.dch}$);

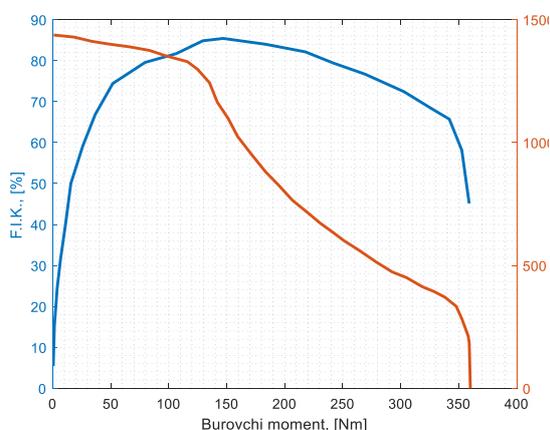
2. Ограничение по минимальному значению напряжения на выходах (U_{min});
 3. Ограничение по максимальному значению тока заряда ($I_{max.ch}$);
- Ограничение по максимальному значению напряжения на выходах (U_{max}).

В автомобилях с гибридным приводом электрическая машина работает в тяговом (электродвигатель) и тормозном (генератор) режимах. В режиме генератора электромобиль вырабатывает электроэнергию и заряжает аккумулятор.

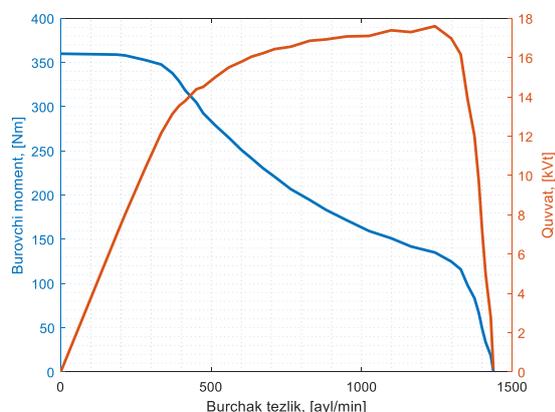
КПД электрической машины является функцией вращательного момента и угловой скорости вала электрической машины.

$$\eta_{motor} = f(M_{motor}, \omega_{motor})$$

$$\eta_{gen} = f(M_{gen}, \omega_{gen})$$



Классификация крутящего момента и КПД электромашины



Классификация крутящего момента и мощности электромашины

Рисунок 11. Значения мощности при необходимой тяге (Max. мощность) и торможении (Min. мощность) в колесе в различных циклах движения

По следующим причинам ниже угловой скорости ω_1 рекуперация не происходит:

- восстановленная энергия невелика; [HILS]
- может отрицательно сказаться на комфорте; [HILS]

При плавном движении двигатель внутреннего сгорания автомобиля работает в статическом режиме. Мощность двигателя, с учетом КПД трансмиссии, равна сумме сил сопротивления движению. Известно, что расход топлива двигателя можно определить в зависимости от угловой скорости вала и уровня использования мощности двигателя.

Модель коробки передач предназначена для увеличения крутящего момента и снижения угловой скорости. Момент переключения передач определяется в блоке привода и скорости, где должно осуществляться переключение передач, и отмечается в начале.

На рисунке 12 представлена таблица определения момента переключения передач по двум факторам: по положению дроссельной

заслонки и скорости движения автомобиля. Однако ввиду того, что целью является экспериментальная оценка надежности модели, выбирается однофакторный способ переключения передач. Как только достигается предел скорости на этой передаче на основании однофакторного способа, водитель переключается на более высокую передачу.

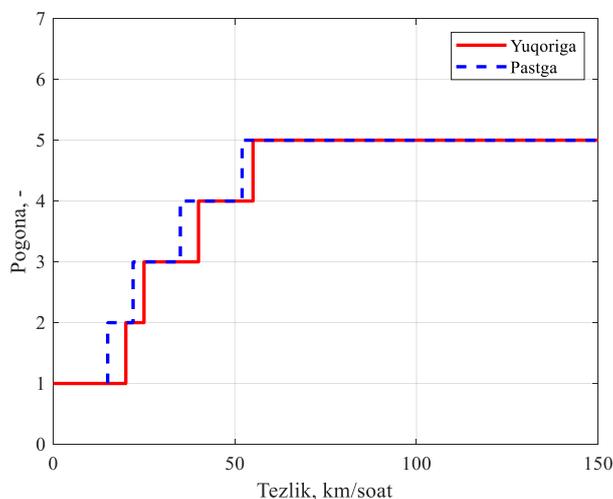


Рисунок 12. Определение момента переключения передач

В целях оценки надежности стенда виртуального автомобиля, разработанного на основе разработанных математических моделей и пакета Matlab/Simulink, были проведены экспериментальные исследования.

Топливная характеристика конкретного движения осуществлялась на участке длиной в 1000 метров. При въезде на мерный участок автомобили имели определенную скорость 90 и 120 км/ч. Задача водителя – сохранить эту скорость до конца измеренного участка. Фактическую мгновенную скорость автомобиля можно было видеть на внешнем индикаторе. В конце измеренного участка было зарегистрировано количество израсходованного топлива, средняя скорость на измеряемом участке и время прохождения измеряемого участка.

Для автотранспортных средств с общей массой до 3,5 тонн показатель расхода топлива в городском цикле движения осуществлялся соответственно оперативной карте городского цикла вождения.

Испытания проводились на измеренном участке дороги длиной 4000 м, участки были размечены согласно требованиям оперативной карты цикла движения. Оперативную карту водителю выдает контролер, и водитель выполняет команду контролера, согласно показателям индикатора скорости и знаков на дороге, в течение цикла движения.

По окончании испытания фиксировалось количество израсходованного топлива, время одного цикла движения и пройденное расстояние.

В четвертой главе, посвященной **«Разработке рекомендаций по созданию двигателя внутреннего сгорания и гибридного двигателя для пассажирских перевозок на вторичном рынке»**, приведены рекомендации по выбору параметров и режимов управления гибридным приводом автомобиля и расчеты экономической эффективности тюнинговой гибридизации привода.

По данным статистического агентства Узбекистана, в 2023 году количество транспортных средств, работающих на двигателе внутреннего сгорания, составило более 3,2 миллиона. 74% из них работают на сжатом природном газе, 24% — на бензине, а 2% — на электричестве и других альтернативных видах топлива. Потенциальными заказами тюнинг-гибридизации эксплуатируемых автомашин являются автомобили, работающие на бензине, кроме того, экономическую эффективность тюнинг-гибридизации можно рассмотреть и на автомобилях, работающих на сжатом природном газе.

Расчеты произведены в средних ценах 2023 года при условиях проезда среднегодового пробега 30 000 километров. Были изучены различные варианты тюнинг-гибридизации и для автомобиля был выбран вариант, используемый за счет минимальных изменений.

На рисунке 13 показан общий вид тюнинг-гибридизации автомобиля с учетом упомянутых выше затрат. В условиях WLTC для создания низкого расхода топлива были взяты HUB e-моторы с мощностью аккумулятора 35 кВт и 2 электродвигателя мощностью 10 кВт по выбранным параметрам.

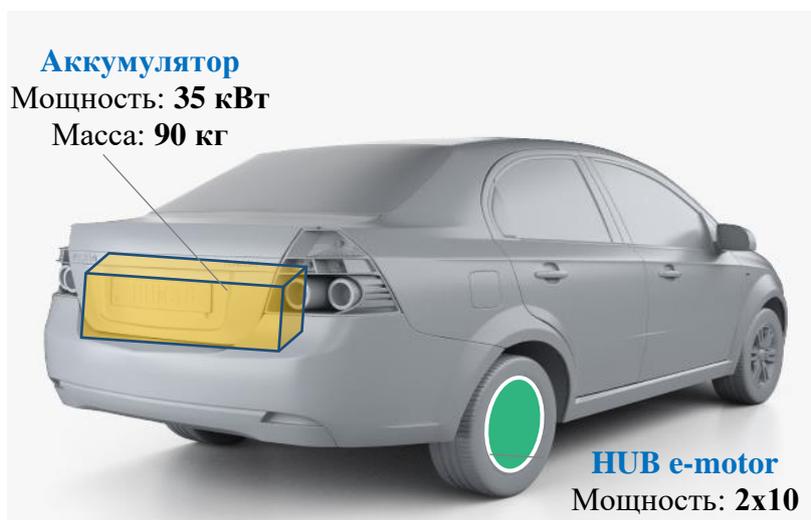


Рисунок 13. Образец тюнинг-гибридизации эксплуатируемых автомашин

В таблице 1 приведены варианты электродвигателей HUB для различных автомобилей. Согласно нему имеется возможность выбора в зависимости от типа автомобиля и запроса водителя (потребителя). Электродвигатели HUB, разделенные на типы S, M, M1, L, могут быть выбраны от 13-дюймовых до 20-дюймовых колес в зависимости от модификации электромоторов. При этом общая масса автомобиля находится в диапазоне от 500 кг до 3250 кг. Видно, что в зависимости от типа вес электромоторов HUB варьируется от 18 до 34,5 кг. Также, максимальный момент можно изменить с 400 до 1500 Нм, максимальную мощность с 40 кВт до 110 кВт и постоянную мощность с 29 до 65 кВт. Разумеется, цена разных модификаций также бывает на разном уровне и может подбираться в

соответствии с требованиями потребителя. Это служит для полного обеспечения стиля вождения водителя.

Таблица 1.

Тип электромоторов HUB

	S type	M type	M1 type	L type
				
Модель	S400	M700	M1100	L1500
Масса автомобиля, кг	500 – 1200	700 - 1800	1700 - 2700	2100 - 3250
Радиус колеса, дюйм	13" - 14"	15" - 16"	17"	19" - 20"
Номинальное напряжение, В	100	100 - 400	100 - 370	350
Вес, кг	18	23	40	34,5
Максимальный момент, Нм	400	700	1100	1500
Максимальная скорость, об/мин	1560	1500	1160	1250
Максимальная мощность, кВт	40	75	90	110
Постоянная мощность, кВт	29	50	70	65

На сегодняшний день более 60 процентов вредных газов, выбрасываемых в атмосферу в Узбекистане, вызваны движением транспортных средств (данные Министерства экологии). В городе Ташкенте этот показатель достиг 88 процентов. Между тем сегодня население Узбекистана в меньшей степени владеет автомобилями, чем население развитых стран, то есть высока вероятность дальнейшего повышения этих показателей за счет насыщения внутреннего рынка. В настоящее время на 1000 человек приходится 90 автомобилей в Узбекистане, 202 в Казахстане, 300 в России, 567 в Германии и 910 в США. По этой причине спрос на легковые автомобили на авторынке Узбекистана очень высок.

На основании вышеизложенного можно также рекомендовать населению переходить на движение на электромобилях. Однако электромобили медленно набирают популярность из-за высокой цены, ограничения возможности движения на дальние расстояния и длительного времени зарядки. Учитывая, что за 9 месяцев 2023 года было закуплено более 20 000 электромобилей, можно узнать, что для полного перехода на электрические автомобили потребуется около 100 лет. И при этом возникает вторая сторона вопроса: сколько электроэнергии необходимо для движения миллионов электромобилей, не перегружает ли это общую электросистему? Разумеется,

эти аспекты также следует учитывать. Кроме того, существует вероятность того, что утилизация существующих автомобилей с двигателями внутреннего сгорания станет проблемой из-за популярности электромобилей.

Согласно этому, можно сделать вывод, что для движения автотранспортных средств необходима гибридная система, и в этом случае в качестве выбора для потребителей было бы целесообразно предусмотреть варианты гибридизации существующих транспортных средств в дополнение к покупке гибридных транспортных средств.

Возможность электрификации автомобилей вторичного рынка значительно сокращают необходимость утилизации подержанных автомобилей. Также технологии, рекомендованные в результате проведенных исследований, требуют внесения минимальных изменений в автомобили. Сегодня не только Узбекистан, но и всемирный рынок автомобилей имеет ряд экономических преимуществ тюнинг-гибридизации в сфере дополнительных услуг для автомобильной промышленности. В частности, по расчетам, возмещение затрат на оснащение электромотором HUB займет в среднем до 30 месяцев. Если исходить из стоимости автомобиля, то это дешевле, чем покупка нового электромобиля или гибридного автомобиля. Особенно для автомобилей, эксплуатируемых в городских условиях, возможность движения только на электрической энергии повышает экономическую эффективность предлагаемой технологии. Для движения тюнинг-гибридного автомобиля только в городских условиях, на короткие расстояния, если взять средний расход бензина условно в количестве 10% от расхода бензина ДВС, срок окупаемости оснащения электромотором HUB составляет от 16 до 30 месяцев в зависимости от типа бензина.

Кроме того, популяризация предлагаемой технологии имеет значительные экологические преимущества. С другой стороны, использование гибридной технологии предотвращает зависимость от одного вида топливного ресурса, а воздействие на энергосистему страны минимально.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследований, проведенных по разработке методологии тюнинг-гибридизации привода легкового автомобиля, были сделаны следующие выводы:

1. Разработаны критерии оценки эффективности тюнинг-гибридизации привода и обоснованы возможности тюнинг-гибридизации привода в существующих автомобилях исходя из требований рынка.

2. Разработан метод энергетического анализа выбора параметров тюнинг-гибридного привода по улучшению показателей критериев оценки. При этом энергопотребление автомобиля с тюнинг-гибридизацией снижено до 35-90 % в зависимости от циклов.

3. Экспериментально оценена надежность метода расчета расхода топлива и энергии имитационной модели автомобиля с гибридным приводом

конфигурации P5. При этом была подтверждена надежность экспериментов с разницей не более 2,5-3% в результатах экспериментальных данных и имитационных экспериментов.

4. Экспериментально оценена надежность метода расчета расхода топлива и энергии имитационной модели автомобиля с гибридным приводом конфигурации P5. При этом была подтверждена надежность экспериментов с разницей не более 9% в результатах экспериментальных данных и имитационных экспериментов.

5. По результатам экспериментов, проведенных в различных циклах движения, предложенный метод гибридизации создаст возможность для движения в основном в городских циклах за счет внедрения тюнинга эксплуатируемых автомобилей. При этом установлено, что в циклах движения HWFET и UDDS из-за большей протяженности магистрального движения эффективность установленного электродвигателя конфигурации P5 составит 1-30%.

6. Разработаны алгоритмы управления при внедрении тюнинга в эксплуатируемые автотранспортные средства для гибридизации внутриколесного электродвигателя HUB (in-wheel HUB e-motor) конфигурации P5.

7. Экспериментами и модельными расчетами подтверждено, что модифицированные детали автомобиля не оказывают влияния на его подвески при тюнинговом внедрении на эксплуатируемые автомобили внутриколесного электродвигателя HUB (in-wheel HUB e-motor). При этом было установлено, что вибрация, воздействующая на пассажиров и кузов автомобиля, находится на минимальном уровне, в рекомендуемых значениях.

8. Технологии, рекомендованные в результате проведенных исследований, требуют внесения минимальных изменений в автомашину. На сегодняшний день тюнинговая гибридизация имеет ряд экономических преимуществ не только для Узбекистана, но и для всей мировой автомобильной промышленности в сфере дополнительных услуг. В частности, согласно расчетам, срок окупаемости затрат на оснащение HUB e-motor составит в среднем до 30 месяцев.

**SCIENTIFIC COUNCIL AWARDING SCIENTIFIC DEGREES
DSc.15/31.08.2022.T.73.03 AT TASHKENT STATE TRANSPORT
UNIVERSITY**

TURIN POLYTECHNIC UNIVERSITY IN TASHKENT

TUYCHIEV OLIMJON ALIJONOVICH

05.08.06 – Wheeled and tracked vehicles and their operation

**METHODOLOGY FOR TUNING HYBRIDIZATION OF A
PASSENGER CAR DRIVE**

**DISSERTATION ABSTRACT OF THE DOCTOR OF SCIENCE (DSc)
IN TECHNICAL SCIENCES**

Tashkent– 2023

The theme of the thesis of Doctor of Science (DSc) was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number B2023.4.DSc/T687.

The dissertation has been prepared at the Turin Polytechnic University in Tashkent.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the website tstu.uz and on the website of “ZiyoNet” Information and educational portal www.ziynet.uz.

Scientific advisor: **Mukhitdinov Akmal Anvarovich**
doctor of technical sciences, professor

Official opponents: **Kadirov Sarvar Mukaddirovich**
doctor of technical sciences, professor

Salomov Uktam Rahimovich
doctor of technical sciences, professor

Gianfranco Rizzo, Italy
doctor of technical sciences, professor

Leading organization: **Andijan Institute of Mechanical Engineering**

The defense of the dissertation will take place on January, 20 at 11⁰⁰ at the Scientific Council DSc.15/31.08.2022.T.73.03 at the Tashkent State Transport University. (Address: 100167, str. Temiryo‘lchilar 1, Phone: (99871) 299-00-01, fax: 71-293-57-54, e-mail: rektorat@tstu.uz, tashiit@exat.uz)

The dissertation is registered in Information-Resource portal of the Tashkent State Transport University (registered under № ____). (Address: 100167, str. Temiryo‘lchilar 1, Phone: (99871) 299-00-01, fax: 71-293-57-54, e-mail: rektorat@tstu.uz, tashiit@exat.uz)

Abstract of the dissertation sent out on “ ____ ” _____ 2023 y.
(registry protocol No. ____ on “ ____ ” _____ 2023 y.).

A.A. Riskulov

Chairman of the scientific council
awarding scientific degrees,
doctor of technical sciences, professor

K.Z.Ziyayev

Scientific secretary of scientific council
awarding scientific degrees,
doctor of philosophy, associate professor

G.A.Samatov

Chairman of the academic seminar under
the scientific council awarding scientific degrees,
doctor of economical sciences, professor

DISSERTATION ABSTRACT OF THE DOCTOR OF SCIENCE (DSc) ON TECHNICAL SCIENCES

A brief content of dissertation abstract of doctor of science (DSc)

INTRODUCTION (abstract of DSc dissertation)

The aim of the research work is to develop a scientific basis for the selection of hybridization parameters and control modes to improve the fuel efficiency and environmental safety of a secondary market vehicle.

The objects of research passenger car with parallel hybrid drive (P5).

The scientific novelty of the research is as follows:

the vehicle's traction, speed and energy-ecological performance have been improved through the use of a tuned hybrid drive;

a methodology has been developed for selecting control patterns that mutually coordinates the existing drive of a car with a tuned hybrid drive;

to achieve high fuel efficiency, a methodology has been developed for selecting drive parameters by selecting power indicators for the vehicle's hybrid drive components;

the parameters and patterns of control of a tuned hybrid drive of a car with a P5 configuration have been improved using a program for calculating an assessment of the energy efficiency of the drive;

the reliability of the calculation program for a car with a tuned hybrid drive is substantiated by comparing the results of the car's dynamometer and drive parts;

recommendations have been developed to improve the technical and economic efficiency of replacing the existing drive of a car with a hybrid drive P5 by selecting drive parameters.

Implementation of the research results.

Based on the results obtained in the development of the scientific basis for the selection of parameters and control modes of hybridization to improve the fuel efficiency and environmental safety of a secondary market car:

a methodology has been introduced for selecting control patterns that bring the vehicle drive available in the system of Uzavtosanoat JSC into mutual correspondence with a tuned hybrid drive, a methodology for selecting drive parameters by selecting power indicators for the vehicle's hybrid drive components to achieve high fuel efficiency, as well as a program for calculating assessment of drive energy efficiency to improve the parameters and patterns of control of a tuned hybrid drive of a car with P5 configuration (certificate No. 19/04-25-1586 of Uzavtosanoat JSC dated October 18, 2023). As a result, when designing or selecting new models of operating vehicles, the opportunity has been created to select their design parameters and control modes, assess the energy efficiency of the vehicle and determine fuel consumption under certain driving conditions.

The structure and volume of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of references and appendices. The volume of the dissertation is 148 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLICATIONS

I бўлим (I часть; I part)

1. Tuychiev O.A. Understanding the implementation of hub motors in electric cars // The American Journal of Engineering and Technology. Vol.05, Issue 05, 2023. –P.7-10
2. Tuychiev O.A. Hybridization of existing cars: a review of current technologies and future prospects // European international journal of multidisciplinary research and management studies. Vol.3, Issue 5, 2023. – P.38-43
3. To‘ychiyev O.A. Elektr-gibrid yuritmalı avtomobil va uning tarkibiy qismlarining mukammallik dialektikasi. Oriental Renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences. Vol.3, Issue 9, 2023. – P181-193
4. To‘ychiyev O.A. Elektr-gibrid yuritmalı avtomobilning boshqaruv parametrlari va boshqarish rejimlarini aniqlash usullarining tahlili // Oriental Renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences. Vol.3, Issue 9, 2023. –P194-206
5. Tuychiev O. Analysis of studies on the selection of parameters and control modes of a hybrid car in the secondary market // Builders of The Future. Vol.3, Issue 5, 2023. –P1-14
6. To‘ychiyev O.A. Ichki yonuv dvigatelli foydalanishdagi avtomashinalarni tyuningli gibridlashtiris-hning iqtisodiy samaradorligi // International Scientific Journal of Biruni. Vol.2, Issue 3, 2023. –P89-95
7. Тўйчиев О.А. Фойдаланишдаги автомобилларни гибридлаштириш имкониятлари // International Scientific Journal of Biruni. Vol.2, Issue 3, 2023. –P82-88
8. To‘ychiyev O.A. Ichki yonuv dvigatelining ish rejimini tanlash va gibrid dvigatelni boshqarish algoritmini ishlab chiqish // Sanoatda raqamli texnologiyalar. Vol.1, Issue 2, 2023. –P1-6
9. To‘ychiyev O.A. Transport vositasining ishlashiga gibrid uzatmalı energiya manbalari va tarkibiy qismlari parametrlari va ish rejimlarining ta’sirini baholash // Oriental Journal of technology and engineering. Vol.3, Issue 6, 2023. –P33-43. <https://supportscience.uz/index.php/ojhpl/article/view/796>
10. To‘ychiyev O.A. G‘ildirak ichi elektr motorlaridan foydalanishda ularning avtomashina osmalariga ta’sirini o‘rganish // Builders of the future. Vol.3, Issue 6, 2023. –P.1-7. <https://kelajakbunyodkori.uz/index.php/builders/article/view/179>

II бўлим (II часть; II part)

1. To‘uchiyev O.A. Elektr-gibrid yuritmalı avtomobil va uning tarkibiy qismlarining mukammallik dialektikasi // Elektron hisoblash mashinalari uchun yaratilgan dastur. DGU 28264, 09.10.2023
2. Тўйчиев О.А. Ички ёнув двигателли автомобилларни гибридлаштириш учун HUB электромоторлардан фойдаланиш афзалликлари (таҳлил) // Journal of advances in engineering technologies. Vol.3(7), 2022. –P.49-52.
3. Tuychiev O.A. Considerations for hybridizing internal combustion engine secondary vehicles // International conference of philology, social activities and modern science. May 10, 2023. –P.72-74
4. Tuychiev O.A. Advantages of using hub electric motors (analysis) // International conference of philology, social activities and modern science. May 10, 2023. –P.75-77
5. Тўйчиев О.А. Plug-in гибридизация: перспективы и вызовы // International conference on Theory and analytical aspects of recent research. September 9, 2023, Stambul, Turkey. –P63-65
6. Тўйчиев О.А. Совершенствование электрогибридного автомобиля и его компонентов // International conference on Theory and analytical aspects of recent research. September 9, 2023, Stambul, Turkey. –P13-15
7. Tuychiev O.A. Improving the electrohybrid vehicle and its components // Models and methods for increasing the efficiency of innovative research: a collection scientific works of the international scientific conference (11 September 2023) - Berlin:2023. part 26 – P94-96
8. To‘uchiyev O.A. Avtomobil dinamikasi uchun avtomobil g‘ildiragini modellashtirish // Zamonaviy ta‘lim tizimini rivojlantirish va unga qaratilgan kreativ g‘oyalar, takliflar va yechimlari mavzusidagi 58-sonli respublika ilmiy-amaliy on-line konferensiyasi, Toshkent. 2023-yil. –B30-32
9. To‘uchiyev O.A. Avtomobil gibrid yuritmasi komponentlarini modellashtirish // Zamonaviy ta‘lim tizimini rivojlantirish va unga qaratilgan kreativ g‘oyalar, takliflar va yechimlari mavzusidagi 58-sonli respublika ilmiy-amaliy on-line konferensiyasi, Toshkent. 2023-yil. –B27-29
10. To‘uchiyev O.A. Ichki yonuv dvigatelli foydalanishdagi avtomashinalarni tyuningli gibridlashtirish imkoniyatlari // Zarafshon vohasini kompleks innovatsion rivojlantirish yutuqlari, muammolari va istiqbollari IV-xalqaro ilmiy-amaliy anjumani, 16-17 Noyabr, 2023-yil, Navoiy sh, –B200-201

Автореферат «ТДТУ Хабарномаси» илмий-техник журнали таҳририясида таҳрирдан ўтказилди ва ўзбек, рус тилларидаги матнларининг мослиги текширилди.

№ 1400



Bosishga ruxsat etildi: 09.11.2023
Bichimi: 60x84 ¹/₁₆ «Times New Roman»
Garniturada raqamli bosma usulda bosildi.
Shartli bosma tabog'i 3,5 Adadi 100. Buyurtma: № 165
«INNOVATSION RIVOJLANISH NASHRIYOT-MATBAA UYI»
bosmaxonasida chop etildi.
100174, Toshkent sh, Olmazor tumani,
Ziyo MFY, Talabalar ko'chasi, 96-1-uy

