

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

---

**TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI**

**ISMATOV JUMANIYEZ FAYZULLAYEVICH**

**YENGIL AVTOMOBIL DVIGATELLARI CHIQINDI GAZLARIDA  
UGLEROD EMISSIYASINI MINIMALLASHTIRISH UCHUN BENZIN-  
VODOROD YONILG'ISINI QO'LLASHNING ILMIY ASOSLARI**

**05.08.06 – G'ildirakli va gusenitsali mashinalar va ularni ishlatish**

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

**Toshkent-2025**

**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**

**Ismatov Jumaniyez Fayzullayevich**

Yengil avtomobil dvigatellari chiqindi gazlarida uglerod emissiyasini minimallashtirish uchun benzin-vodorod yonilg‘isini qo‘llashning ilmiy asoslari..... 3

**Исмагов Жуманиез Файзуллаевич**

Научные основы применения бензино-водородного топлива для минимизации углеродной эмиссии отработавших газов двигателей легковых автомобилей..... 36

**Ismatov Jumaniyez Fayzullayevich**

Scientific basis for the use of gasoline-hydrogen fuel to minimize carbon emissions from exhaust gases of passenger car engines..... 72

E‘lon qilingan ishlar ro‘uxati

Список опубликованных работ

List of published works ..... 76

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

---

**TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI**

**ISMATOV JUMANIYEZ FAYZULLAYEVICH**

**YENGIL AVTOMOBIL DVIGATELLARI CHIQINDI GAZLARIDA  
UGLEROD EMISSIYASINI MINIMALLASHTIRISH UCHUN BENZIN-  
VODOROD YONILG'ISINI QO'LLASHNING ILMIY ASOSLARI**

**05.08.06 – G'ildirakli va gusenitsali mashinalar va ularni ishlatish**

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

**Toshkent-2025**

**Texnika fanlari doktori (DSc) dissertatsiyasi mavzusi O‘zbekiston Respublikasi Oliy ta’lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2025.1.DSc/T191 raqam bilan ro‘yxatga olingan.**

Dissertatsiya Toshkent davlat texnika universiteti va Toshkent davlat transport universitetida bajarilgan.

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

**Ilmiy maslahatchi:**

**Qodirov Sarvar Muqodirovich**  
texnika fanlari doktori, professor, akademik

**Rasmiy opponentlar:**

**Muhitdinov Akmal Anvarovich**  
texnika fanlari doktori, professor

**Sharipov Qung‘irot Avazembetovich**  
texnika fanlari doktori, professor

**Kadir Aydin**  
texnika fanlari doktori, professor

**Yetakchi tashkilot: “Toshkent irrigatsiya va qishloq xo‘jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti” Milliy tadqiqot universiteti**

Dissertatsiya himoyasi Toshkent davlat transport universiteti huzuridagi ilmiy darajalar beruvchi DSc.15/31.08.2022.T.73.03 raqamli Ilmiy kengashning 2025-yil «\_\_\_» \_\_\_\_\_ soat \_\_\_\_\_ dagi majlisida bo‘lib o‘tadi. (Manzil: 100167, Toshkent sh, Temiryo‘lchilar ko‘chasi, 1-uy, Tel.: (99871) 299-00-01, faks: (99871) 293-57-54 e-mail: [rectorat@tstu.uz](mailto:rectorat@tstu.uz), [tashiit@exat.uz](mailto:tashiit@exat.uz)).

Dissertatsiya bilan Toshkent davlat transport universitetining Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (№ \_\_\_\_\_ raqam bilan ro‘yxatga olingan). Manzil: 100167, Toshkent sh., Temiryo‘lchilar ko‘chasi, 1-uy. Tel.: (99871) 299-00-01, faks: (99871) 293-57-54 e-mail: [rectorat@tstu.uz](mailto:rectorat@tstu.uz), [tashiit@exat.uz](mailto:tashiit@exat.uz)).

Dissertatsiya avtoreferati 2025-yil «\_\_\_» \_\_\_\_\_ kuni tarqatildi.  
(2025-yil «\_\_\_» \_\_\_\_\_ dagi \_\_\_\_\_ - raqamli reestr bayonnomasi).

**A.A.Riskulov**

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

**K.Z.Ziyaev**

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

**A.A.Muxitdinov**

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

## KIRISH (doktorlik dissertatsiyasi (DSc) annotatsiyasi)

**Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati.** Jahonda iqtisodiy rivojlanish istiqbollari ma'lum darajada transport vositalarini yonilg'ini bilan ta'minlashga, transportni barqaror, xavfsiz va samarali ishlashi katta ahamiyatga egaligi hisobga olinib, avtomobil transporti sohasida energiya manbalaridan oqilona va samarali foydalanishga, ularning ekologik xavfsizligini oshirishga katta ahamiyat berilmoqda. Hozirda rivojlangan horijiy mamlakatlarda transport sohasida energiya tejamliligini ta'minlash, ularning ekologik xavfsizligini oshirish va iqtisodiy samaradorliklarini belgilab olish, yashil energiya va qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan yonilg'ini sifatida foydalanish orqali avtomobil transportidan foydalanish ko'rsatgichlarini oshirishga qaratilgan masalalar yetakchi o'rinni egallagan. Bu borada, jumladan, transport vositasining asosiy kuch agregati bo'lgan ichki yonuv dvigatellarini yonilg'ini-energetika muammosini hal qilish istiqbollari sifatida qazib olinadigan neft mahsulotlarini kam foydalanish va vodorodga eng ekologik toza va bitmas-tuganmas yonilg'ini turi sifatida alohida e'tibor qaratilmoqda.

Jahonda avtomobillar sonining keskin ortib borishi munosabati bilan yonilg'ini yonish jarayonida ajralib chiqadigan zaharli va zararli moddalarni kamaytirish va muqobil energiya manbalaridan foydalanishga qiziqish ortib borishi ushbu yo'nalishda ilmiy-tadqiqot ishlarini olib borish muhim ahamiyat kasb etadi. Ushbu yo'nalishda, jumladan dunyoning ko'pgina mamlakatlarida, benzina muqobil bo'lgan bioyonilg'ini sanoat miqyosida ishlab chiqariladi, ammo uning yonilg'ini balansidagi ulushi 0,3% dan oshmasligi, transport xarajatlarini va transport vositalarini atrof-muhitga salbiy ta'sirini kamaytirish ishlari bo'yicha tadqiqotlar ustivor hisoblanmoqda. Shu bilan birga, dvigatel ishlab chiqaruvchi korxonalarining ko'plab xorijiy tadqiqot markazlarida yonilg'ini tejash va an'anaviy suyuq uglevodorod yonilg'ilarini yangi turlarga almashtirishga qaratilgan ya'ni vodorod yonilg'isidan foydalanish bo'yicha ilmiy tadqiqotlar olib borish kabi masalalar dolzarb vazifalardan hisoblanmoqda.

Respublikamizdagi avtomobillarda benzin-vodorod yonilg'isidan foydalanish, avtotransport vositalarini iqtisodiy tejamliligini oshirish imkoniyatini kengaytiradi va shu bilan birga ekologik toza va samaradorligi yuqori bo'lgan tabiiy qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan oqilona foydalanishga qaratilgan keng qamrovli rejali chora-tadbirlar amalga oshirilmoqda. Buni, avtotransport vositalarining ekologik va energiya xavfsizligini ta'minlashga qaratilgan, sohadagi olib borilayotgan ilmiy-tadqiqot va uslubiy ishlarni rag'batlantiruvchi qator me'yoriy-huquqiy hujjatlarning qabul qilinganligi yaqqol ko'rsatib turibdi. Jumladan, 2022-2026 yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasida "...Iqtisodiyot tarmoqlari va aholiga neft-gaz mahsulotlarini uzluksiz yetkazib berilishini ta'minlash" va "...O'zbekistonning Jahon savdo tashkilotiga a'zo bo'lishining metallurgiya, to'qimachilik, oziq-ovqat, avtomobil ishlab chiqarish sohaslariga ta'sirini o'rganish"<sup>1</sup> bo'yicha vazifalari alohida belgilab berilgan. Mazkur

---

<sup>1</sup> O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yil 28 yanvardagi PF-60-son "2022-2026 yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risida"gi Farmoni.

vazifalarni bajarishda iqtisodiy barqarorlikni ta'minlash uchun xalq xo'jaligi tarmoqlarida transport vositalarining, xususan avtomobil transportining o'rnini hisobga olgan holda, transport vositalarining yonilg'i tejamkorligini yaxshilash, ularni atrof-muhitga salbiy ta'sirini kamaytirish yo'llarini izchil ishlab chiqish va asoslash, ushbu xususiyatlarini baholashning uslublarini ishlab chiqishga bog'liq tadqiqotlar olib borish dolzarb vazifadir.

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019-yil 22-avgustdagi "Iqtisodiyot tarmoqlari va ijtimoiy sohaning energiya samaradorligini oshirish, energiya tejoychi texnologiyalarni joriy etish va qayta tiklanuvchi energiya manbalarini rivojlantirishning tezkor chora-tadbirlar to'g'risida"<sup>2</sup> gi PQ-4422-sonli, 2021-yil 9-aprelda O'zbekiston Respublikasi Prezidentining PQ-5063-sonli "O'zbekiston Respublikasida qayta tiklanuvchi va vodorod energetikasini rivojlantirish chora-tadbirlari to'g'risida"<sup>3</sup> gi Qarorlari va 2024-yil 29-martdagi O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining VMQ-166 – sonli «Atmosfera havosiga transport vositalarining salbiy ta'sirini kamaytirish bo'yicha chora-tadbirlar to'g'risida»<sup>4</sup> gi Qarori ijrosini ta'minlashga hamda mazkur faoliyat sohasida qabul qilingan boshqa me'yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishga ushbu dissertatsiya tadqiqoti muayyan darajada xizmat qiladi.

**Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo'nalishlariga mosligi.** Mazkur tadqiqot respublika fan va texnologiyalar rivojlanishining III «Energetika, energiya – resurstejamkorlik, transport, mashina va asbobsozlik» ustuvor yo'nalishi doirasida bajarilgan.

**Muammoning o'rganilganlik darajasi.** Xorijiy olimlar tomonidan transport vositalari dvigatellarida ekspluatatsiya sharoitida alternativ yonilg'ilardan foydalanish samaradorligini tadqiq etish masalalari o'rganilgan, jumladan Vergote St., Moser F., M. Egert, W. Cartellieri, U. Veit, R. Walter, Vogel Ch., Rottengruber H., Wiebicke U., Woschni G., Zeilinger, J.R., K.R us R., Basshuysen R., Schäfer F., Basshuysen R. (Hrsg.), Spicher U., Boehman A.L., Le Corre O., Westbrook C.K., Dryer F.L., Westerkamp L., Wiebicke U., Wong J., Wray K.L., Wong J., Wray K.L., Teare, J.Z sifatida U., Dibble R., Bell S.R., Afenstaedt G., Backhaus R., Boehman A.L., Le Corre O., Bowman C.T., Bracco F.V., Eichlseder H., Klell M., Favre A., Fenimore C.P., Han Z., Reitz R.D., Heider G., Jorach R.W., Ro, P. T.B., Sams T.B riesching P., Ruetz J., H. Buchner, R. Dell, G. Lukas, S.O. Bade Shrestha, G.A. Karim, Z. Huang, Jinxua Vang, Ferran A. Ayala, Inge Saanum, G. Vosney, K. Zeilinger, U. Wiebiske, X. Rottengruber, G. Zitzler, K. Walker, B. Eder, D. Kalass, M. Larson, S.A. Salman, E. Risen, E. Gregeby, A. Blimberg, A.I. Mishchenko, V.A. Vagner, V.A. Zvonov, Yu.V. Galishev, A.I. Gaivoronskiy, V.I. Erosov, I.V. Smolenskiy, G.B. Talda, R.Sh. Misbahov, L.N. Bortnikov, D.A. Pavlov, V.V. Rumyantsev, V.Z. Gibadullin, G.N. Zlotin, N.A. Ivashenko, A.A. Kapustin, N.N. Patrakhaltsev, A.S. Sokolik, V.M. Fomin, A.S. Xachiyan, N.A. Xripach, A.P. Shaykin, A.A. Golosov, A.A. Skripnik, V.A. Fedorov, Z.R. Kavtaradze, A.V.

---

<sup>2</sup> <https://lex.uz/docs/-4486125>.

<sup>3</sup> <https://lex.uz/docs/-5362032>.

<sup>4</sup> <https://lex.uz/pdfs/6858809>.

Shibanov, A.A. Zelensov, S.S. Sergeev, I.I. Timchenko, D. Ramadan, V. Baader, V.L. Chumakov, N.V. Krasnoshekov, A.D. Perederiya, T.I. Andryuxin, A.N. Zaxarchenko, N. N. Semenova, Ya B. Zeldovich, A. S. Kompaneets, A. S. Radchenko, R.V. Mokrushin, V.V. Tyulpa, V. F. Kutenev, V. A. Zvonov, G. S. Kornilov, M.L. Varshavskiy, R.V. Maloe, Yu.V. Galishev, F. Moser, V. Bogatyrev, V.V. Goncharov, V.P. Barmin, R.V. Maloe, V.I. Krutov, A.G. Rybalchenko, V.V. Rumyantsev, E.V. Shatrov, L.K. Petrov, S.A. Glagovskiy, A.A. Vatulyan, S.M. Frolov, V.Ya. Basevich, A.A. Belyaev, A.N. Gots, R. Kreussenbrunner, A.R. Kulchitskiy, L.E. Magidovich va boshqalar vodorodni yonilg'i sifatida ishlatish muammolari ustida tadqiqotlar olib borishgan.

Mamlakatimiz olimlaridan A.A. Mutalibov, S.M. Qodirov, B.I. Bazarov, Sh.Yu. Imomov, S.A. Kalaulov, A.X. Vasidov, R.N. Axmatjanov, O.G. Ergashev va J.X. Djalilovlar va boshqalar muqobil turdagi yonilg'idan foydalangan holda avtomobillarning ishlash ko'rsatkichlarini yaxshilash va ichki yonuv dvigatellarida yonilg'i-havo aralashmasiga vodorod qo'shishga qaratilgan tadqiqotlar olib borilgan.

Shu bilan birga, yuqorida keltirilgan olimlarimizning ishlarini tahlil qilish shuni ko'rsatdiki, benzin-vodorod yonilg'sini avtotransport vositalarining energiya qurilmalarida foydalanish masalalari yetarlicha ochib berilmaganligi, shuningdek ichki yonuv dvigatellari uchun benzin-vodorod yonilg'sidan foydalanib chiqindi gazlar tarkibidagi uglerod emissiyasini kamaytirishning usullari yoritilmaganligini ko'rsatdi.

**Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan oliy ta'lim muassasasining ilmiy tadqiqot ishlari rejaları bilan bog'liqligi.** Dissertatsiya ishi Toshkent shahar tabiatni muhofaza qilish qo'mitasi va TAYI o'rtasida tuzilgan 10.06.2015 yildagi 01-15-sonli "Vodorod yonilg'i tizimini rivojlantirish" xo'jalik shartnomasi asosida va Toshkent Davlat Texnika Universiteti o'rtasida buyurtmachi INOYAT FAYZ TEKS XK (INOYAT FAYZ TEKS XK va "UZ TEST" DUK" o'rtasidagi yengil avtomobil dvigatellarida benzin va benzin-havo aralashmalarida vodorod qo'shilganda muvofiq poligon sinovlari o'tkazish) ilmiy-texnikaviy mahsulotlarni yaratish (topshirish) bo'yicha 1-sonli xo'jalik shartnomasi asosida bajarilgan.

**Tadqiqotning maqsadi** benzin-vodorod yonilg'isidan foydalangan holda yengil avtomobil dvigatellari chiqindi gazlarida uglerod emissiyasini minimallashtirishdan iborat.

**Tadqiqotning vazifalari:**

yonish jarayonining faollashuv energiyasini oshirish orqali ichki yonuv dvigatellarida uglerod chiqindilarini sezilarli darajada kamaytirish imkoniyatini nazariy jihatdan asoslash;

Otto termodinamik siklida yonilg'ining hajmli yonishi nazariyasi asoslarini shakllantirish va undagi vodorod va kislorod ionlarining ishtirokining ahamiyatini baholash;

GM Chevrolet Cruze/Nexia/Lacetti yengil avtomobilining F16D3 dvigateli misolida keng diapazonda tezlik va yuklamali ish rejimlarida samarali yonishni

ta'minlovchi benzin-vodorod yonilg'isining binar aralashmasi tarkibini nazariy asoslash;

elektroliz rejimini, eritma tarkibini va nazariy tamoyillarga muvofiqligini optimallashtirish uchun bort elektrolizatorining (vodorod generatori) eksperimental modelini asoslash, loyihalash, ishlab chiqarish va sinovdan o'tkazish, shuningdek F16D3 dvigatelining barcha ish rejimlarida standart bortli EBB bilan vodorod ta'minoti tizimining (benar yonilg'i) ishlashini muvofiqlashtirish;

dvigatellarni sinash stendlarida yonilg'i ta'minotining sozlash parametrlarini va uchqunning alanganlash burchagini optimallashtirish orqali mezonlariga muvofiq maksimal indikator bosimiga va chiqindi gazlarda minimal uglerod emussiyalariga erishish;

taklif etilayotgan texnik yechimlarning samaradorligini GM Cruze/Nexia/Lacetti yengil avtomobilini EVRO shahar tsiklida yo'lda sinovdan o'tkazish orqali tasdiqlash;

dissertatsiya tadqiqoti natijalarini Transport vazirligi, O'zbekiston respublikasi ekologiya, atrof-muhitni muhofaza qilish va iqlim o'zgarishi vazirligi va amaliy foydalanish uchun manfaatdor tashkilotlarga topshirish.

**Tadqiqot obyekti** sifatida yengil avtomobilning F16D3\_dvigateli olingan.

**Tadqiqod predmetini** benzin-vodorod yonilg'isida ishlaydigan yengil avtomobillar dvigatellarining chiqindi gazlaridagi uglerod emissiyasi tashkil etadi.

**Tadqiqod usullari.** Tadqiqot jarayonida nazariy tadqiqot usullari, regressiya tahlili, interpolatsiya usuli, texnik tizimlar tahlili va sintezi, ichki yonuv dvigatellarining nazariyasi va raqamli hisobi, sinov stendlarida poligonlarda eksperimental tadqiqotlar qo'llaniladi, hamda, shahar sikllarida, yonilg'i tejash va transport vositalaridan chiqadigan zaharli moddalar miqdorini eksperimental o'rganish uchun standart va xususiy usullardan foydalangan holda, dvigatelning ish rejimlarining yonish fazasining davomiyligini aniqlash usullari qo'llanilgan.

**Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:**

interpolyasiya usulidan foydalanib, Otto siklida benzin-vodorod yonilg'isida ishlaydigan dvigatelining ish siklining samaradorligini baholash va chiqindi gazlar tarkibidagi uglerod emissiyalarini kamaytirish imkoniyatini nazariy jihatdan asoslash usullari, yonish jarayonining faollashuv energiyasini oshirishni inobatga olgan holda takomillashtirilgan;

grafik-analitik usuldan foydalangan holda, dvigatelning yonilg'i-havo aralashmasiga beriladigan vodorod miqdorini hisobga olgan holda yengil avtomobil dvigatelining keng diapazondagi tezlik va yuklanish rejimlarida samarali yonishini ta'minlovchi benzin-vodorod yonilg'isining benar aralashmasi tarkibini hisoblash uslubi takomillashtirilgan;

dvigatelning ishlash rejimlarini hisobga olgan holda eksperimental tadqiqot usullaridan foydalanib, dvigatel yonish fazasining davomiyligini aniqlash uslubi ishlab chiqilgan;

yonish jarayonining asosiy yonish fazasida korrelyatsion-regression tahlil usuli yordamida, benzin-vodorod yonilg'isining yonish issiqligidan samarali foydalanish darajasini baholash usuli takomillashtirilgan;

uchqundan o't oladigan dvigatel benzin-vodorod yonilg'isida ishlaganda, ish jarayonining samaradorligi va chiqindi gazlar tarkibidagi uglerod emissiyalarini kamayishi eksperimental usullar yordamida asoslangan;

dvigatelga benzin-vodorod yonilg'isidan fodalanganda, yonish fazalarining davomiyligini baholash mezonlari yonuvchi aralashma tarkibidagi vodorod miqdori inobatga olinib, eksperimental usullar yordamida ishlab chiqilgan.

**Тадқиқотнинг амалий натижалари** қуйидагилардан иборат:

ichki yonuv dvigatellarida benzin-havo aralashmalariga vodorod qo'shish, issiqlikdan foydalanish samaradorligini oshirish va chiqindi gazlarning zaharligini kamaytirish uslubi asoslandi;

benzin-vodorod yonilg'isi bilan ishlaydigan dvigatelning aralashma tarkibini tartibga solish xususiyatlari va bu xususiyatlarni amalga oshiradigan yonilg'i ta'minoti tizimi eksperimental (poligon, ekspluatatsiya) tadqiqotlar o'tkazish uslubi ishlab chiqildi;

ichki yonuv dvigatellarida chiqindi gazlar chiqindilarini benar (benzin-vodorod) yonilg'i qo'llash orqali ekologik xavfsizlik va yonilg'i tejamkorligini oshirish yo'li bilan uglerod emissiyalarini minimallashtirish va kerakli tarkibdagi vodorodni olish uslubi ishlab chiqildi;

ichki yonuv dvigatelining turli ish rejimlarini avtomatik boshqarish uchun vodorod generatori qurilmasi tizimlari takomillashtirildi.

**Тадқиқот natijalarining ishonchliligi.** Tadqiqotlar zamonaviy usullar va o'lchov vositalaridan foydalangan holda o'tkazildi. Eksperimental sinovlarni rejalashtirishning asosiy texnik va matematik qonuniyatlaridan foydalanib, ishlab chiqilgan nazariy qoidalar eksperimental tadqiqotlar natijalari bilan tasdiqlanadi.

**Тадқиқот natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati:**

Tadqiqod natijalarining ilmiy ahamiyati, suv elektrolizi jarayonida sodir bo'ladigan elektrokimyoviy jarayonlarning nazariy tahlili elektrolitning rasional tarkibini, vodorod va kislorod ionlarini (Braun gazi yoki portlovchi gaz) olish rejimini tanlash imkonini berdi, Otto termodinamik siklida yonilg'ining hajmli yonishi nazariyasi asoslari shakllantirildi, unda vodorod va kislorod ionlari ishtirokining ahamiyati ko'rsatildi, yonish jarayonining faollashuv energiyasini oshirish orqali Otto siklli dvigatellarda uglerod emissiyalarini kamaytirish imkoniyati nazariy jihatdan asoslandi, benzin-vodorod yonilg'i aralashmasining faollashuv darajasini baholash imkonini beruvchi analitik bog'liqliklar olingan hamda benzin-vodorod yonilg'isida ishlaydigan yengil avtomobil dvigatelining keng diapazondagi tezlik va yuk rejimlarida samarali yonishini ta'minlovchi benzin-vodorod yonilg'isining benar aralashmasi tarkibini hisoblashning takomillashtirilgan usuli ishlab chiqilib amaliyotga tadbiiq etilganligi va vodorodning kerakli tarkibini tanlash usulini ishlab chiqilganligi bilan izohlanadi.

Olingan tadqiqod natijalarining amaliy ahamiyati ichki yonuv dvigatellarida benzin-havo aralashmalariga vodorod qo'shish, issiqlikdan foydalanish samaradorligini oshirish va chiqindi gazlarning zaharligini kamaytirish bo'yicha amaliy tavsiyalar, benzin-vodorod yonilg'isi bilan ishlaydigan dvigatelning aralashma tarkibini tartibga solish xususiyatlari va bu xususiyatlarni amalga

o'shiradigan yonilg'i ta'minoti tizimi, benzin-vodorod yonilg'isi bo'yicha eksperimental (poligon, ekspluatatsiya) tadqiqotlar o'tkazish metodologiyasi va dasturi ishlab chiqilganligi, ichki yonuv dvigatellarida chiqindi gazlar chiqindilarini benar (benzin-vodorod) yonilg'i qo'llash orqali ekologik xavfsizlik va yonilg'i tejamkorligini oshirish yo'li bilan uglerod emissiyalarini minimallashtirish va kerakli tarkibdagi vodorodni olish, ichki yonuv dvigatelining turli ish rejimlarini avtomatik boshqarish uchun vodorod generatori qurilmasi tizimlari takomillashtirilganligi, ularning raqobat bardoshlilikini oshishi bilan izohlanadi.

**Tadqiqod natijalarining joriy qilinishi.** Yonilg'i samaradorligi ko'rsatkichlarini oshirish va ichki yonuv dvigatellari bilan jihozlangan yengil avtomobillarda chiqindi gazlarining uglerod emissiyalarini, benzin-vodorod benar yonilg'isini berish orqali minimallashtirish bo'yicha ilmiy tadqiqoti natijalari asosida:

Otto siklida benzin-vodorod yonilg'isida ishlaydigan dvigatelining ish siklining samaradorligini baholash va chiqindi gazlar tarkibidagi uglerod emissiyalarini kamaytirish imkoniyatini nazariy jihatdan asoslashning takomillashtirilgan uslublari Toshkent shahar ekologiya, atrof-muhitni muhofaza qilish va iqlim o'zgarishi boshqarmasida joriy etilgan (O'zbekiston respublikasi ekologiya, atrof-muhitni muhofaza qilish va iqlim o'zgarishi vazirligi 2025-yil "24" - aprel 03-03/1-03/3-3999-sonli ma'lumotnomasi). Natijada, benzin-vodorod yonilg'isi bilan ishlaydigan turli xil transport vositalarida, xususan, uchqundan o't oladigan ichki yonuv dvigateli bilan jihozlangan engil avtomobilda yonilg'i tejamkorligi 11% gacha energiya tejamkorligiga erishilib, ekologik muammolarini kamayishiga olib kelgan;

yengil avtomobil dvigatelining keng diapazondagi tezlik va yuklanish rejimlarida samarali yonishini ta'minlovchi benzin-vodorod yonilg'isining benar aralashmasi tarkibini hisoblashning takomillashtirilgan uslubi Toshkent shahar ekologiya, atrof-muhitni muhofaza qilish va iqlim o'zgarishi boshqarmasida joriy etilgan (O'zbekiston respublikasi ekologiya, atrof-muhitni muhofaza qilish va iqlim o'zgarishi vazirligi 2025-yil "24" - aprel 03-03/1-03/3-3999-sonli ma'lumotnomasi). Buning natijasida, benzin-havo aralashmasiga vodorod berish orqali o'tqazilgan poligon sinovi davomida 120 km/soat tezlikda-11,17%, 90 km/soat tezlikda-11,06% va shahar siklida-6,29% yonilg'i tejamkorligiga erishilgan;

eksperimental tadqiqot usullaridan foydalanib, dvigatelning yonish fazasining davomiyligini aniqlash uslubi Toshkent shahar ekologiya, atrof-muhitni muhofaza qilish va iqlim o'zgarishi boshqarmasida joriy etilgan (O'zbekiston respublikasi ekologiya, atrof-muhitni muhofaza qilish va iqlim o'zgarishi vazirligi 2025-yil "24" - aprel 03-03/1-03/3-3999-sonli ma'lumotnomasi). Natijada, benzin-vodorod yonilg'isi bilan yonish fazasining davomiyligi 5<sup>0</sup> dan 7<sup>0</sup> gacha kamayishga erishildi, bu aralashmaning to'liq yonishiga olib keladi;

asosiy yonish fazasida benzin-vodorod yonilg'isining yonish issiqligidan samarali foydalanish darajasini dvigatelning ish rejimini baholashning takomillashtirilgan usuli Toshkent shahar ekologiya, atrof-muhitni muhofaza qilish

va iqlim o'zgarishi boshqarmasida joriy etilgan (O'zbekiston respublikasi ekologiya, atrof-muhitni muhofaza qilish va iqlim o'zgarishi vazirligi 2025-yil "24" - aprel 03-03/1-03/3-3999-sonli ma'lumotnomasi). Natijada, Toshkent shahri avtomobil yo'llarida o'tkazilgan shahar siklida sinov natijalariga ko'ra yonilg'i 7% tejalgan. O'tkazilgan sinovlarga ko'ra, benzin bilan uglerod oksidi 0,7 foiz, hajmi bo'yicha uglerod 129 mil<sup>-1</sup>; uglerod oksidi benzin-vodorod yonilg'isi bilan 0,33 foiz, uglerod hajmi bo'yicha 97 mil<sup>-1</sup> tashkil etgani aniqlandi;

benzin-vodorod yonilg'isida dvigatelining ish jarayonining samaradorligi, chiqindi gazlar tarkibidagi uglerod emissiyalarini kamaytirishi hisob-analitik va eksperimental usullar yordamida asoslanishi Toshkent shahar ekologiya, atrof-muhitni muhofaza qilish va iqlim o'zgarishi boshqarmasida joriy etilgan (O'zbekiston respublikasi ekologiya, atrof-muhitni muhofaza qilish va iqlim o'zgarishi vazirligi 2025-yil "24" - aprel 03-03/1-03/3-3999-sonli ma'lumotnomasi). Natijada, benzin-havo aralashmasiga vodorod qo'shilganda, silindrga quyiladigan yonilg'i miqdori 15% gacha kamaydi. Olingan tashqi tezlik xususiyatlari, dvigatelning turli rejimlari, benzin va benzin-vodorod yonilg'isi bilan ekologik baholash CO 30-50%, CH 6-20%, NO<sub>x</sub> 5-12% va issiqxona gazlari, karbonat angidrid CO<sub>2</sub> 15-30% miqdoridagi zararli chiqindilarni kamaytirishiga olib keladi;

yonuvchi aralashma tarkibidagi vodorod miqdori inobatga olinib, eksperimental usullar yordamida ishlab chiqilgan, benzin-vodorod yonilg'isida ishlaganda dvigatelning yonish fazalarining davomiyligini baholash mezonlari Toshkent shahar ekologiya, atrof-muhitni muhofaza qilish va iqlim o'zgarishi boshqarmasida joriy etilgan (O'zbekiston respublikasi ekologiya, atrof-muhitni muhofaza qilish va iqlim o'zgarishi vazirligi 2025-yil "24" - aprel 03-03/1-03/3-3999-sonli ma'lumotnomasi). Natijada, Benzin-vodorod yonilg'isidan foydalanish iqtisodiy jihatdan asosli bo'lib, bir litr benzin uchun 2610 so'mgacha bo'lib, dvigatelning turli ish rejimlarida quvvatini 5 dan 10 foizgacha oshiradi. Natijada, bitta yengil avtomobilni benzin-vodorod yonilg'isi bilan ekspluatatsiya qilishning yillik energiya va ekologik samaradorligi 2,9 mln. so'mni tashkil etib, yillar davomida bartaraf etilishi kerak bo'lgan atrof-muhitga etkaziladigan zarar 98,7 ming so'mni tashkil etishiga erishilgan.

**Ushbu ish natijalari** TAYI va TDTU ilmiy-tadqiqot ishlari bo'yicha iqtisodiy shartnoma mavzulari bo'yicha ikkita hisobotga kiritilgan.

**Tadqiqot natijalarini sinovdan o'tkazish.** Dissertatsiya tadqiqoti natijalari 6 ta xalqaro va 5 ta respublika ilmiy-amaliy anjumanlarida muhokama qilindi.

**Tadqiqot natijalarini nashr etish.** Dissertatsiya mavzusi va materiallari bo'yicha jami 30 ta ilmiy maqola chop etilgan. Ulardan 13 ta ilmiy maqola техника фанлари доктори (DSc) dissertatsiyalarining asosiy ilmiy natijalarini chop etish uchun O'zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasi tomonidan nashrga tavsiya etilgan ilmiy jurnallarda, jumladan, 8 tasi respublika va 5 tasi xorijiy jurnallarda chop etilgan. Kompyuter uchun yaratilgan dasturni rasmiy ro'yxatdan o'tkazish to'g'risida 4 ta sertifikat oldi.

**Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi.** Dissertatsiya hajmi 174 varaq mashinkada yozilgan, 77 rasm, 27 jadval bilan tasvirlangan va kirish, olti bob, xulosa, 172 nomdagi foydalanilgan adabiyotlar va ilovalardan iborat.

## DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Dissertatsiya ishining **“Kirish”** qismida tadqiqot ishining dolzarbligi, maqsad va vazifalari asoslab berilgan, tadqiqot ob’ekti va sub’ektlari yoritilgan, mamlakatimiz fan va texnikasi rivojlanishining ustuvor yo‘nalishlariga muvofiqligi ko‘rsatilgan, tadqiqotning ilmiy yangiligi va amaliy ahamiyati, tadqiqot natijalarini amaliyotga tatbiq etish, shuningdek, nashrlar va dissertatsiya tarkibi haqida ma’lumotlar berilgan.

So‘nggi paytlarda dvigatel ishlab chiqaruvchi kompaniyalarning ko‘plab xorijiy tadqiqot markazlarida yonilg‘i tejash, atrof-muhitni ifloslantirish muammolari, an’anaviy suyuq uglevodorod yonilg‘ilarini yangi turdagi yonilg‘i bilan almashtirishga qaratilgan tadqiqotlar olib borilmoqda.

Dissertatsiyaning **“Zamonaviy muammoning holati va ilmiy tadqiqot vazifalarini shakllantirish”** deb nomlangan **birinchi bobida** ko‘plab olimlar tomonidan benzin-havo aralashmasiga vodorod qo‘shish orqali engil avtomobilning ishlashini oshirish masalasi bo‘yicha olib borilgan ilmiy tadqiqotlar va eksperimental sinovlar natijalari tahlil qilinadi.

Sayyoramizdagi qazib olinadigan uglevodorod zaxiralarining kamayishi va iqlim o‘zgarishi bilan bog‘liq muammolar tahlili barcha energetika tarmoqlarida, jumladan, avtotransportda ham uglerod chiqindilarini nolga tushirish bo‘yicha shoshilinch choralar ko‘rish zarurligini ko‘rsatadi.

Jahon yo‘lovchi transportining asosini asosan yuqori tezlikda harakatlanuvchi Otto dvigatellari bilan jihozlangan xususiy yengil avtomobillar tashkil etadi. Uglerod chiqindilarini bir martalik taqiqlash va dvigatellarni toza yonilg‘iga – vodorodga aylantirish, ya’ni yashil harakat tarafdorlari qidirayotgan narsa global miqyosda ijtimoiy portlashga olib kelishi mumkin, chunki bu voqea yuzlab millionlab avtomobillarni yaroqsiz holga keltiradi. Vodorod ekologik toza yonilg‘i bo‘lib, mobil energiya sohasida, ayniqsa ichki yonish dvigatellarida foydalanish texnologiyasi va samaradorligiga sezilarli ta’sir ko‘rsatadigan juda ko‘p afzallik va kamchiliklarga ega.

Birlashgan Millatlar Tashkilotining Yevropa Iqtisodiy Komissiyasi Yevropaning ilg‘or davlatlarining yetakchi kompaniyalari bilan birgalikda barcha turdagi avtomobillar uchun **“Auto-Oil”** dasturini ishlab chiqdi. Ushbu dasturdan kelib chiqqan holda, atrof-muhitni muhofaza qilish zaruratidan kelib chiqib, chiqindi gazlar standartlarini shakllantirish fan yutuqlari va ishlab chiqarishning texnologik imkoniyatlarini hisobga olgan holda jamiyat uchun eng kam xarajat bilan amalga oshirilishi kerak. Ushbu yo‘nalish BMTning **“Yevropa uchun toza havo”** dasturining butun jamiyat uchun ajralmas qismi sifatida amalga oshirilishi rejalashtirilgan edi.

Shunday qilib, chiqindi gazlarning uglerodsiz emissiyalari bir tomondan **“issiqxona effekti”** ni kamaytirishga foydali ta’sir ko‘rsatadi, lekin boshqa

tomondan, ular biosferani oziqlanishdan mahrum qiladi va natijada atmosferadagi kislorod miqdorini kamaytiradi.

Energiya manbalarining o'zgarishi va muqobil yonilg'i manbalariga o'tish inqilobiy emas, balki evolyutsion tarzda sodir bo'ladi degan oqilona xulosaga kelish uchun loyihaning iqtisodiy maqsadga muvofiqligi bo'yicha ibtidoiy hisob-kitoblar bilan cheklanib qolish kifoya. Shu bilan birga, insoniyat qazib olinadigan uglevodorodlardan butunlay voz kechishi dargumon, chunki bu erda oqilona don yo'q, chunki ular er yuzidagi barcha tirik organizmlarning chiqindilari.

Shuni ta'kidlash kerakki, metangidratning dunyo okeanlari va chuchuk suv havzalarida (masalan, Baykal ko'li) kuzatilishi (global isish munosabati bilan) ekologlar tomonidan Yer sayyorasi atmosferasida issiqxona effektini kuchaytiradigan o'ta xavfli hodisa sifatida baholanadi.

Dissertatsiyaning **ikkinchi bobida "Otto dvigatellarini benar (benzin-vodorod yonilg'isi) yonilg'isi qo'llashsh orqali uglerod emissiyalarini minimallashtirishning nazariy asoslari"** suv elektrolizi jarayonida sodir bo'ladigan elektrokimyoviy jarayonlarning nazariy tahlili keltirilgan, bu bizga ratsional elektrolitlar tarkibini va portlovchi gazni olish rejimini tanlashga imkon berdi, Otto termodinamik siklida yonilg'ining hajmli yonish nazariyasi asoslarini shakllantirdi hamda vodorod va kislorod ionlarining emissiyasidagi ishtirokining muhimligini ko'rsatadi. Otto siklli dvigatellarda yonish jarayonining faollashuv energiyasini oshirib, benzin-vodorod yonilg'i aralashmasining faollashuv darajasini baholashga imkon beruvchi analitik bog'liqliklarni keltirib chiqaradi va yengil avtomobil F16D3 dvigatelining tezlik va yuklanish rejimlarining keng diapazonida samarali yonishni ta'minlaydigan benzin-vodorod yonilg'i aralashmasining tarkibini nazariy jihatdan asoslandi.

Elektroliz mexanizmini ko'rib chiqayotganda, har qanday suvli eritmada elektrolit ionlaridan tashqari, suvdan  $H^+$  va  $OH^-$  ionlari ham mavjudligini unutmash kerak. Bu ionlar elektr maydonida xuddi elektrolitlar ionlari kabi harakat qiladi: vodorod ionlari katodga, gidroksil ionlari esa anodga qarab harakatlanadi.

Ushbu hodisaning parametrlari o'rtasidagi miqdoriy munosabatlarni o'rnatuvchi elektroliz qonunlari 1830-yillarda Maykl Faraday tomonidan o'rnatildi. Faradayning birinchi qonuni elektroliz jarayonida ajralib chiqadigan moddaning miqdori elektrolitdan o'tadigan elektr zaryadiga to'g'ridan-to'g'ri proporsional ekanligini aytadi

$$M = kq = kIt, \quad (1)$$

bu yerda,  $k$  – elektrokimyoviy ekvivalent, elektrolitdan elektr zaryad birligi o'tganda elektrodda ajralib chiqadigan moddaning massasiga son jihatdan teng;  $I$  - oqim kuchi,  $A$ ;  $t$  -vaqt birligi,  $s$ .

Faradayning ikkinchi qonuniga ko'ra: elementlarning elektrokimyoviy ekvivalentlari ularning kimyoviy ekvivalentlariga to'g'ridan-to'g'ri proporsionaldir, ya'ni

$$k = C \frac{A}{Z}, \quad (2)$$

bu yerda, elementning  $A$  atom og'irligining valentligiga nisbati  $Z$  – kimyoviy ekvivalent bo'lib, gramm ekvivalentlarida (qisqartirilgan g-ekvivalent) ifodalanadi.

$F = 1/C$  miqdor Faraday soni deb ataladi, elektrolitdan o'tgan elektr zaryadiga teng bo'lib, bunda elektrodda 1 g-ekv har qanday modda ajralib chiqadi:  $F = 96494 \text{ Kl}/(\text{g-ekv}) \approx 95000 \text{ Kl}/(\text{g-ekv})$ .

Ikkala Faraday qonunining umumlashtirilishi bu nisbatga teng

$$M = \frac{AIt}{FZ}, \text{ или } M = \frac{Aq}{FZ}, \quad (3)$$

shundan kelib chiqadiki, har qanday ion zaryadining kattaligi  $q$  ga teng

$$q = \pm \frac{ZF}{N_A}, \quad (4)$$

$Z$  - ionning valentligi;  $N_A$  - Avogadro raqami,  $N_A = 6,022 \cdot 10^{23}, \text{ mol}^{-1}$ . Bir valentli ionning zaryadi ( $Z = 1$ ) mutlaq qiymatda elektronning zaryadiga teng:

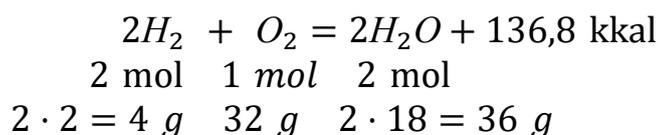
$$q_1 = e = 1,602 \cdot 10^{-10} \text{ Kl}.$$

Har qanday elektr zaryadi  $e$  elementar deb hisoblangan eng kichik zaryadning ko'paytmasi ekanligi aniqlandi.

Sayyoramizdagi global iqlim o'zgarishining o'tkir muammolari barcha mamlakatlar tomonidan atmosferaga uglerod oksidi chiqindilarini keskin kamaytirish bo'yicha zudlik bilan keskin choralar ko'rishni taqozo etdi. Bizning muammoni talqin qilishimiz global yashil harakat yetakchilarining populistik shiorlaridan farq qiladi, chunki biz tabiatda uglerod aylanishi zarurligini hisobga olamiz, chunki usiz flora va shuning uchun fauna yo'q bo'lib ketadi. Shuning uchun, bir chekkadan ikkinchisiga o'tishdan oldin, biz Xitoyning chumchuqlarga qarshi kurashdagi qayg'uli tajribasini esga olishimiz kerak!

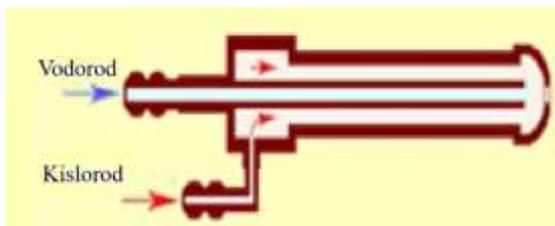
Vodorod barcha gazlarning eng engili bo'lib, u havodan deyarli 14,5 baravar engilroqdir. Oddiy sharoitlarda bir litr vodorodning og'irligi bor-yo'g'i 0,09 g ni tashkil qiladi, vodorod suvda ozgina eriydi, lekin palladiy, platina va boshqalar kabi ba'zi metallarda sezilarli darajada eriydi.

Agar biron bir tor teshikdan chiqadigan vodorod oqimiga yoqilgan gugurt keltirilsa, vodorod yonadi va yorug'liksiz alanga bilan yonadi. Yonish mahsuloti suvdir



Shunday qilib, 4 g vodorod va 32 g kislorodni yoqish orqali biz 36 g suv bug'ini olamiz va 136,8 kkal issiqlik chiqariladi.

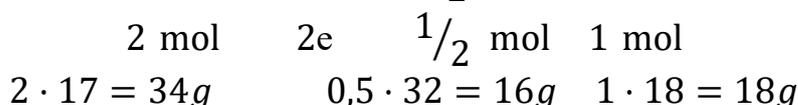
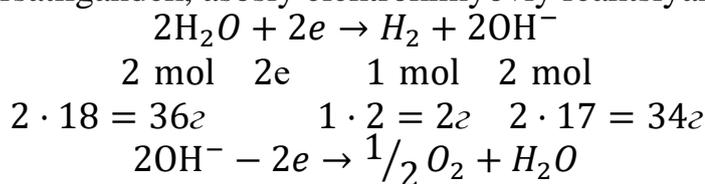
Ikki hajmli vodorodning bir hajm kislorod bilan aralashmasi yoqilganda, gazlar birikmasi aralashmaning butun massasi bo'ylab deyarli bir zumda sodir bo'ladi va kuchli portlash bilan birga keladi. Shuning uchun bunday aralashma **portlovchi gaz** deb ataladi (1-rasm).



1-rasm. Portlovchi gaz garekasi

Ko'pgina tadqiqotchilar vodorodning massa ko'rsatkichlari (kkal/kg) bo'yicha taqqoslashga tayanib, uglevodorodlarga qaraganda yuqori sof kaloriyali qiymatga ega ekanligiga asossiz ishonishadi. Ushbu yonilg'ilar tomonidan chiqarilgan issiqlikni hajmli o'lchov birliklarida solishtirganda, teskari xulosa kelib chiqadi: vodorod unchalik samarali emas va buning uchun juda oddiy tushuntirish mavjud. Buning uchun biz Otto sikli dvigatelining o'ziga xos dizayniga, masalan, O'zbekiston avtosanoati mahsulotiga – GM Chevrolet Lacetti yengil avtomobilining F16D3 dvigateliga murojaat qilishimiz kerak bo'ladi.

Yuqorida ko'rsatilgandek, asosiy elektrokimyoviy reaksiyalar:



ikkala reaksiyada ikkita elementar elektr zaryadi ishtirok etadi (birinchisida u sarflanadi, ikkinchisida esa chiqariladi)

$$2e = 2 \cdot 1,602 \cdot 10^{-10} = 3,204 \cdot 10^{-10} \text{ Kl.}$$

(2) tenglamaga ko'ra, elementlarning elektrokimyoviy ekvivalentlari ularning kimyoviy ekvivalentlariga to'g'ridan-to'g'ri proporsionaldir, shuning uchun vodorod uchun

$$k = \frac{1,008}{1,96500} = 1,045 \cdot 10^{-5} \text{ g-ekv, kislород uchun esa } k = \frac{16}{2,96500} = 8,29 \cdot 10^{-5} \text{ g-ekv.}$$

(3) tenglamaga muvofiq elektrokimyoviy reaksiya natijasida ajralib chiqqan vodorod massasi.

$$M = kIt = 1,045 \cdot 10^{-5} \cdot It \text{ (g-ekv)} \cdot \text{A} \cdot \text{s}$$

Bu hajmdagi vodorodni hajm birliklarida olish uchun uni zichlik  $\rho = 0,071 \text{ kg/m}^3 = 0,071 \text{ g/l} = 7,1 \cdot 10^{-5} \text{ g/ml}$  ga ajratamiz. Keyin

$$V_{\text{H}_2} = \frac{1,045 \cdot 10^{-5}}{7,1 \cdot 10^{-5}} \cdot It = 0,15 \cdot It \text{ ml} \cdot \text{A} \cdot \text{s}$$

Chiqarilgan kislород massasi

$$M = kIt = 8,29 \cdot 10^{-5} \cdot It \text{ (g-ekv)} \cdot \text{A} \cdot \text{s}$$

Hajm birliklarida kislород miqdori teng bo'ladi

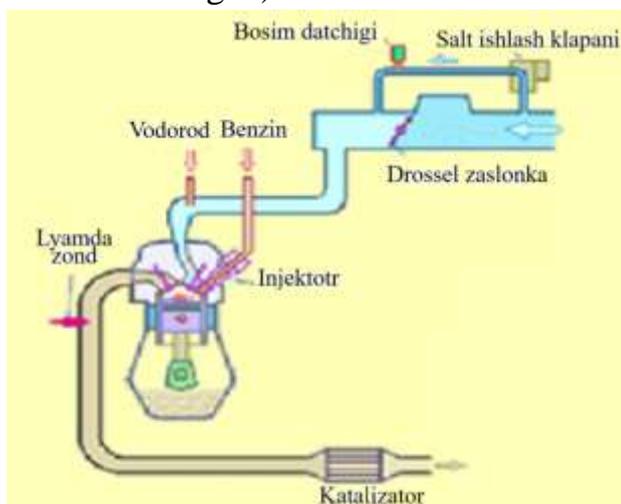
$$V_{\text{O}_2} = \frac{k}{\rho} It = \frac{8,29 \cdot 10^{-5}}{1,43} \cdot It = 5,8 \cdot 10^{-5} \cdot It, \text{ l A} \cdot \text{s yoki } V_{\text{O}_2} = 0,058, \text{ ml A} \cdot \text{s,}$$

Kislородning zichligi  $1,43 \text{ g/l}$  bo'lgani uchun akkumulyator batareyaning normal ishlashi uchun joriy iste'mol ( $I = 10\text{A}$ ) maqbul deb hisoblasak, biz kislород  $\eta_{\text{O}_2} = 0,58 \text{ ml/s}$  uchun elektrolizorning ikkinchi hajmli mahsuldorligini olamiz. 2-rasmda  $5 \text{ A/dm}^2$  oqim zichligi uchun hisoblangan tok kuchiga qarab elektrolizatorning hajmli mahsuldorligining xususiyatlarini ko'rsatilgah.



2-rasm. Elektrolezyor ishlab chiqarish hajmini tok kuchiga bog'liqligi

Portlovchi **gaz** kiritish kollektoriga diametri 6 mm bo'lgan trubka orqali kiradi va kirish klapani yopilishidan oldin, benzinning quyiladigan dozasi va havo bilan aralashtiriladi. natijada, elektrolizerning hajmli sig'imiga, silindrning almashinishiga, kirish davomiyligi va dvigatelning ishlash rejimiga bog'liq holda, kirish vaqti davomida murakkab tarkibdagi aralashma dvigatel silindriga doimiy ravishda kiradi (3-rasmda ko'rsatilgan).



3-rasm. Benar (benzin-vodorod) yonilg'i tizimli Otto motor sxemasi

Ikkilik tizim tomonidan yonilg'ini dozlash va etkazib berish jarayonini boshqarish deyarli standart bilan bir xil. Bu erda yonilg'ining asosiy dozasi benzin bo'lib, uning miqdori gaz klapani, ochiq klapan va bosim datchigi signalining holatiga bog'liq. Tizim salbiy teskari aloqa elementi bilan muvozanatlanadi, uning funksiyasi chiqindi gazlari tarkibini bildiradigan va gaz tarkibini to'g'irlaydigan lambda datchigi tomonidan amalga oshiriladi. etkazib beriladigan **portlovchi gaz** miqdori faqat qabul qilish davomiyligi bilan belgilanadi, ya'ni tirsakli valning tezligiga bog'liq va yuklamaga (burovchi moment) bog'liq emas.

Zamonaviy Otto dvigatellarida kirish klapanlarini ochish davomiyligi taxminan  $285^{\circ}$  TVBB ni tashkil etadi, bu esa  $n=800 \text{ min}^{-1}$  dan  $n=5800 \text{ min}^{-1}$  aylanish tezligi oralig'ida, mos ravishda,

$$t_{\text{BH}} = \frac{60\phi_{\text{BH}}}{2\pi n} = \frac{285 \cdot 60}{360 \cdot 800} = 0,0594 \text{ c,}$$

$$t_{\text{BII}} = \frac{60\phi_{\text{BII}}}{2\pi n} = \frac{285 \cdot 60}{360 \cdot 5800} = 0,0082 \text{ c.}$$

Elektroliz oqimi minimal barqaror salt ishlashda qabul qilish davrida so'rilgan vodorod va kislorodning haqiqiy hajmi elektroliz tok kuchi qiymati  $I = 10 \text{ A}$  ga mos ravishda teng bo'ladi:

$n = 800 \text{ min}^{-1}$  da

$$V_{H_2} = \frac{M_{H_2}}{\rho_{H_2}} \cdot It_{\text{BII}} = 0,15 \cdot 10 \cdot 0,0594 = 0,089 \text{ ml}$$

$$V_{O_2} = \frac{M_{O_2}}{\rho_{O_2}} \cdot It_{\text{BII}} = 0,058 \cdot 10 \cdot 0,0594 = 0,0345 \text{ ml}$$

$n = 5800 \text{ min}^{-1}$  da

$$V_{H_2} = \frac{M_{H_2}}{\rho_{H_2}} \cdot It_{\text{BII}} = 0,15 \cdot 10 \cdot 0,0082 = 0,0123 \text{ ml}$$

$$V_{O_2} = \frac{M_{O_2}}{\rho_{O_2}} \cdot It_{\text{BII}} = 0,058 \cdot 10 \cdot 0,0082 = 0,0048 \text{ ml}$$

Atmosfera havosi bilan aralashmaning hajmida portlovchi gazning hajmi quyidagicha bo'ladi:  $n = 800 \text{ min}^{-1}$  da

$$d_V = \frac{V_{H_2} + V_{O_2}}{V_h} = \frac{0,089 + 0,0345}{400} = 0,0003.$$

$\text{min}^{-1} n = 5800$  da

$$d_V = \frac{V_{H_2} + V_{O_2}}{V_h} = \frac{0,0123 + 0,0048}{400} = 0,00004.$$

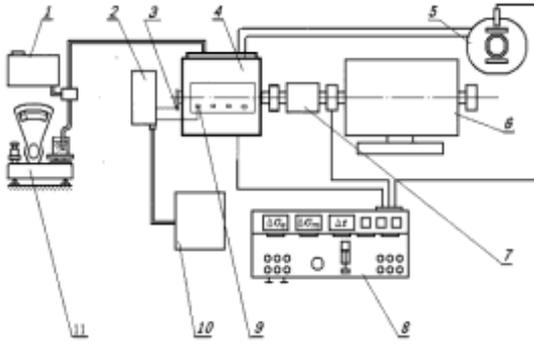
Hisob-kitoblar shuni ko'rsatadiki, termodinamik siklga kiritilgan portlovchi gazning ulushi miqdoriy jihatdan issiqlik energiyasining qo'shimcha o'sish darajasi jihatidan ahamiyatsiz deb hisoblanishi mumkin biroq, har qanday xulosa chiqarishdan oldin, uglevodorodlarning yonishi nazariyasiga murojaat qilish kerak.

Dissertatsiyaning "**Eksperimental qo'rilma. Eksperimentlarni o'tqazishni rejalashtirish va metodikasi**" nomli uchinchi bobida dissertatsiya ishida foydalanadigan jihozlar va asboblar, eksperiment o'tqazish maqsadi va usullari, shuningdek, laboratoriya stendida eksperimental sinovlar o'tqazish uslublari bayon etilgan.

Eksperimental sinovlarda o'lchanadigan parametrlarni aniqligini oshirish va dvigatellarni sinash jarayonida ekspluatatsiya unumdorligini oshirish maqsadida TAYLQEI ning "Ekologiya va ichki yonuv dvigatellari" kafedrasining ilmiy-tekshirish laboratoriyasida o'lchanadigan parametrlarni raqamli ko'rsatish imkonini beruvchi avtomatlashtirilgan o'lchash majmuasida olib borildi.

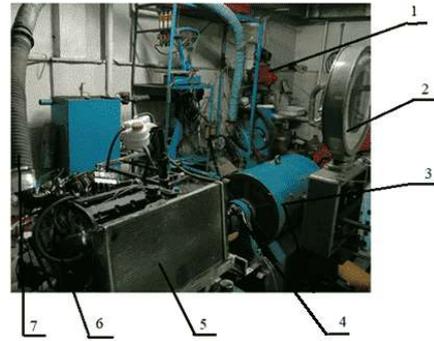
"Lacetti" rusumli avtomobil dvigatelini ilmiy tadqiq qilish jarayonida 80 kVt quvvatga ega RAPIDO (Germaniya) tipidagi elektr balanslash mashinasi ishlatilgan.

Lacetti avtomobil dvigatellarini sinovdan o'tkazish uchun avtomatlashtirilgan o'lchov tizimidan foydalangan holda, stendning umumiy ko'rinishi 4-10-rasmlarda keltirilgan.



4-rasm. Eksperimental tadqiqot stendining sxematik diagrammasi.

1 – yonilg'i baki; 2 – signal kuchaytirgich; 3 - tirsakli valning burilish burchagini ko'rsatadigan kesilgan disk; 4 –; 5 – RG-100 havo oqim o'lchagich; 6 - muvozanatli elektr tormoz; 7 – biriktirish; 8 – O'lchash majmuasi boshqaruv paneli; 9 – o't oldirish svechasi; 10 – kompyuter; 11 – yonilg'i sarfini o'lchash uchun avtomatlashtirilgan elektron tarozilar.



5-rasm. Rapido dvigateli tormoz sinov spexa tekshirish (Germaniya)

1 - RG-100 havo oqimi o'lchagich; 2 – tormoz mexanizmi; 3 – RAPIDO muvozanat mashinasi; 4 – dvigatel tirsakli valining aylanish sonini o'lchash uchun fotodatchik; 5 – radiator; 6 – dvigatel; 7 – kirish quvuri.

Poligon tadqiqotlari Turin politexnika universitetining Pskent poligonida "UzTest" davlat unitar korxonasi sinov uskunasi va qurilmalaridan foydalangan holda o'tkazildi (8, 9-rasm).

Vodorod elektrolizorining texnologik xarakteristikalari aniqlandi, benzin-vodorod yonilg'isi bilan ishlaydigan ichki yonuv dvigatellarining ishlashi tahlil qilindi, benzin va benzin-vodorod yonilg'isi bilan ishlaydigan engil avtomobilning samaradorligi ko'rsatkichlari olindi. (6-rasm).

Vodorod elektrolizorining ishlash printsipi. Elektrolizor yordamida (6-rasm) suv ikkita tarkibiy gazga bo'linadi: H-vodorod va O-kislorod. Vodorod elektrolizorining prinsepial sxemasi 10-rasmda ko'rsatilgan.



6-rasm. Laboratoriyada vodorod elektrolazerli tadqiqotlar



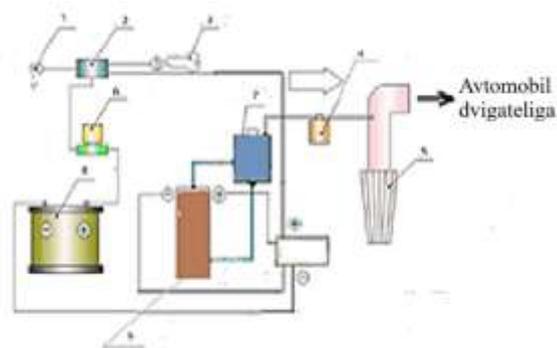
7-rasm. sinov tadqiqot tormoz qurilmasi "Rapido" (Germaniya) boshqaruv paneli.



8-rasm. Dala tadqiqotlari testlari.



9-rasm. Chiqindi gazini o'lchash



10-rasm. Vodorod generator prinsepial sxemasi.

1- massa; 2-o'rni; 3 - kalit; 4 - namlik tutmoq; 5 - havo filtri; 6 - sug'urta; 7 - suv ombori; 8 - batareya; 9 - elektrolizer.

Dvigatelning ishchi jarayonini o'rganish MADI tomonidan ishlab chiqilgan uchqun yondirish shamili piezoelektrik datchik orqali osilografda (11-rasm) kompyuterga ma'lumotlarni uzatish yo'li bilan amalga oshirildi. O'lchov xatosi 2% dan oshmadi.



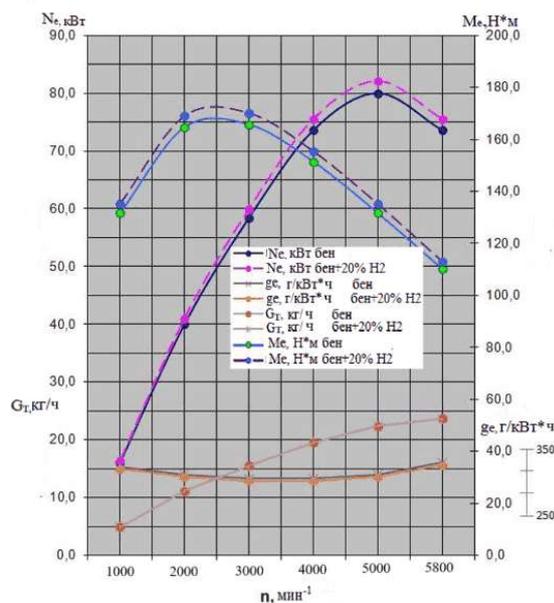
Rasm.11. Piezoelektrik bosim datchikli o't oldirish svechasi.

**"Benzin va benzin-vodrogod yonilg'isida yeng'il avtomobil dvigateli ishlashining eksperimental tadqiqot natijalari"** nomli dissertatsiyasining to'rtinchi bobida yeng'il avtomobil dvigateli ko'rsatkichlari keltirilgan, y'ani har xil yonilg'i turlari (benzin va benzin-vodrogod) ishlayotganda avtomobil dvigatelining asosiy ko'rsatkichlarini, xarakterlarini analitik aniqlik bilan aniqlash va mukammallik darajasini aniqlash imkonini beradi. Olingan ko'rsatkichlar va natijalar avtomobil dvigatelining poligon, stend sinovlari va eksperimental xarakteristikalarining ma'lumotlari bilan taqqoslandi.

Dvigatelning benzin va benzin-vodorod yonilg'isi bilan ishlashini taqqoslash uchun tashqi tezlik xarakteristikalari bir xil rejimlarda olindi.

Dvigatelning benzin va benzin-vodorod yonilg'isidagi tashqi tezlik xarakteristikalarini matematik hisoblash natijalari 12-rasmda keltirilgan. Dvigatelning tashqi tezlik xarakteristikalarini matematik hisoblash natijalariga ko'ra, vodorod benzin-havo aralashmalarining qo'shilishi dvigatelning energiya va iqtisodiy ish faoliyatini yaxshilaydi. 12-rasmda benzin-vodorod yonilg'isida dvigatelning ishlashi yaxshilanadi, yonilg'i iste'moli kamayadi, silindrni to'ldirish yaxshilandi. Bu bilan to'ldirish, buni yonilg'i ta'minoti va aralashmani shakllantirish jarayonlarini takomillashtirish orqali tushuntirish mumkin. Vodorodning yuqori yonish tezligi va kiruvchi zaryadlanishi hamda havo bilan aralashib uning diffuziyon xususiyatlari yuqori yonish darajasi, aralashmani gomojenizasyon xususiyatini yaxshilaydi va buning natijasida yonilg'ining to'liq yonishi sodir bo'ladi.

Olingan grafiklarga ko'ra, benzin-havo aralashmasining vodorod qo'shilishi bilan dvigatel tirsakli valning tezligi oshishi bilan to'ldirish koeffisienti  $\eta_v$  3% gacha oshadi.



12-rasm. Dvigatelning benzin va benzin-vodorod yonilg'isidagi tashqi tezlik xarakteristikalarini matematik hisoblash natijalari.

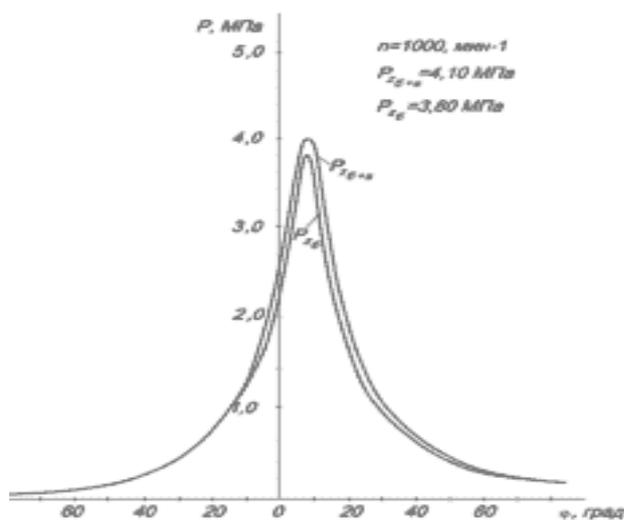
Benzin-havo aralashmasiga 20% vodorod qo'shilishining dvigatelning ish jarayoni va energiya ko'rsatkichlariga ta'sirini baholash, dvigatel tirsakli val aylanishi  $n=1000 \text{ min}^{-1}$  da va dvigatelning o't oldirish ilgarilatish burchagining  $10^\circ$  da silindr ichidagi bosimning o'zgarishining tajribaviy sxemasi 13-rasmida ko'rsatilgan. Dvigatelning ishlash jarayoni piezoelektrik datchikdan signalni qabul qilish, osilograf orqali kompyuterga ma'lumotlarini uzatish yo'li bilan amalga oshirildi. 14-rasmda eksperimental ma'lumotlarni hisobga olgan holda, silindr ichidagi bosimning dvigatel tirsakli val aylanishi  $n = 3800 \text{ min}^{-1}$  da va dvigatelning o't oldirish ilgarilatish burchagining  $10^\circ$  da o'zgarishining diagrammasi ko'rsatilgan.

Olingan eksperimental natijalar shuni ko'rsatadiki, dvigatelning yonish jarayonining samaradorligi benzin-vodorod yonilg'isi bilan sezilarli darajada oshadi. Benzin-havo aralashmasiga vodorod qo'shilganda, yonish jarayoni yonish kamerasining kichik hajmida kamroq vaqt ichida amalga oshiriladi, bu silindr ichidagi maksimal bosimni 5-7% ga oshiradi va shu bilan dvigatelning quvvat xususiyatlarini yaxshilaydi.

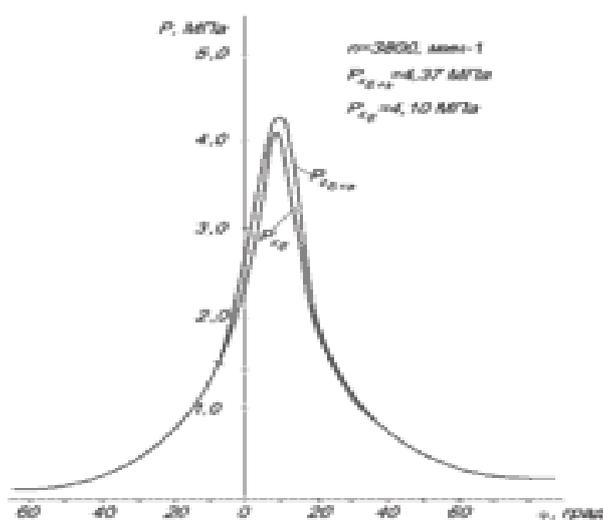
Benzin-havo aralashmasiga vodorod qo'shish orqali dvigatelning energiya ko'rsatkichlarini yaxshilash yonish jarayonining o'ziga xosligini ko'rsatadi. Benzin-vodorod yonilg'isi bilan dvigatel silindridagi o'rtacha indikator bosim 9% ga oshdi. Benzin-vodorod yonilg'isi bilan silindrga quyiladigan yonilg'i miqdori 15% gacha kamaydi. Benzin-vodorod yonilg'isi bilan maksimal va o'rtacha ko'rsatkich bosimini oshirishning ta'siri yonish jarayoni sifat yaxshilash bilan tushuntiriladi. Bu vodorodning yonish tezligining faollashishi, olov frontida kimyoviy reaksiyalarning intensivligining sezilarli darajada oshishi bilan bog'liq bo'lib, bu yonish jarayonini yuqori termodinamik samaradorlik bilan amalga oshirish imkonini beradi va natijada yuqori samaradorlikka ega.

Benzin-havo aralashmasiga vodorod qo'shilganda natijalarni tahlil qilish yuqori sifatli tartibga solinadigan vodorod qo'shimchasida ishlaydigan yangi kam

ifloslantiruvchi va yuqori samarali benzinli dvigatellarni yaratish uchun zarur bo'lgan yonish jarayonining xususiyatlarini tushunishga imkon beradi.



13-rasm. Dvigatelning  $n=1000 \text{ min}^{-1}$  ishlash rejimida benzin va benzin-vodorod yonilg'isi bilan ko'rsatkich diagrammasi



14-rasm. Dvigatelning  $n=3800 \text{ min}^{-1}$  ishlash rejimida benzin va benzin-vodorod yonilg'isi bilan ko'rsatkich diagrammasi

1-jadval

Natijalar: F16D3 dvigatelining tashqi tezligi va zararli moddalarini o'lchash

a) benzin yonilg'isida

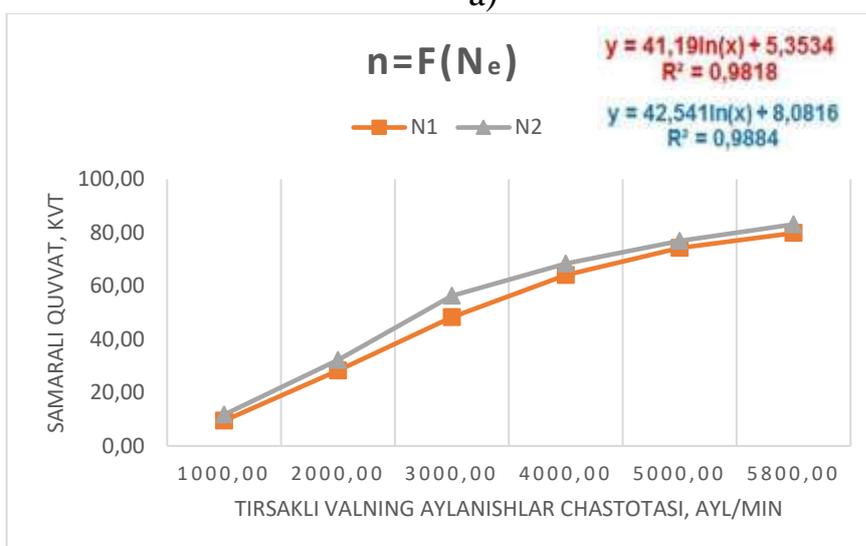
		Natijalar: F16D3 dvigatelining tashqi tezligi va zararli moddalarini o'lchash							
		Yonilg'ilar: benzin							
		Erkin tezlashtirish rejimi							
№ p/n	Dvigatel modeli	Soatbay yonilg'i iste'moli, $G_t$ , kg/soat	Solishtirma yonilg' i iste'moli, g/kVt / soat	Dvigatel kuchi, $N_e$ , kVt	Burovchi moment, $M_e$ , N * m	CO	CO <sub>2</sub>	CH	Nox
	F16D3	2,75	291,02	9,45	90,43	1,06	4,30	288,00	361,00
	F16D3	4,48	177,10	28,29	126,01	1,94	5,44	221,00	343,00
	F16D3	5,52	108,15	48,28	150,01	2,40	6,39	174,00	322,00
	F16D3	6,23	115,09	64,10	152,23	2,59	6,87	147,00	311,00
	F16D3	6,68	135,10	74,20	145,01	2,80	7,08	139,00	304,00
	F16D3	6,95	202,10	79,80	135,41	2,85	7,10	135,00	303,00

b) benzin-vodorod yonilg'isida

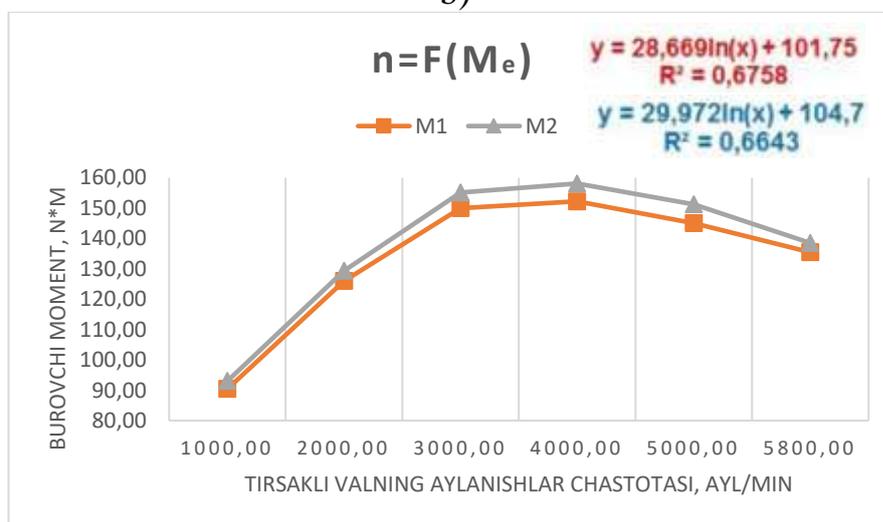
		Natijalar: F16D3 dvigatelining tashqi tezligi va zararli moddalarini o'lchash							
		Benzin-vodorod yonilg'isi							
		Erkin tezlashtirish rejimi							
№ p/n	Dvigatel modeli								

		Soatbay yonilg'i iste'moli, G <sub>e</sub> , kg / soat	Solishirma yonilg' i iste'moli, g / kVt / soat	Dvigatel kuchi, N <sub>e</sub> , kVt	Burovchi moment, M <sub>e</sub> , N * m	CO	CO <sub>2</sub>	CH	Nox
	F16D3	2,30	278,22	11,72	93,02	0,35	2,99	272,00	350,00
	F16D3	3,59	136,90	32,21	129,41	0,88	4,45	167,00	327,00
	F16D3	4,78	86,90	56,26	155,10	1,33	5,27	138,00	306,00
	F16D3	5,71	95,50	68,34	158,11	1,68	5,72	127,00	283,00
	F16D3	6,30	113,80	76,80	151,27	1,89	5,94	121,00	274,00
	F16D3	6,76	167,50	83,05	138,50	1,97	6,07	120,00	269,00

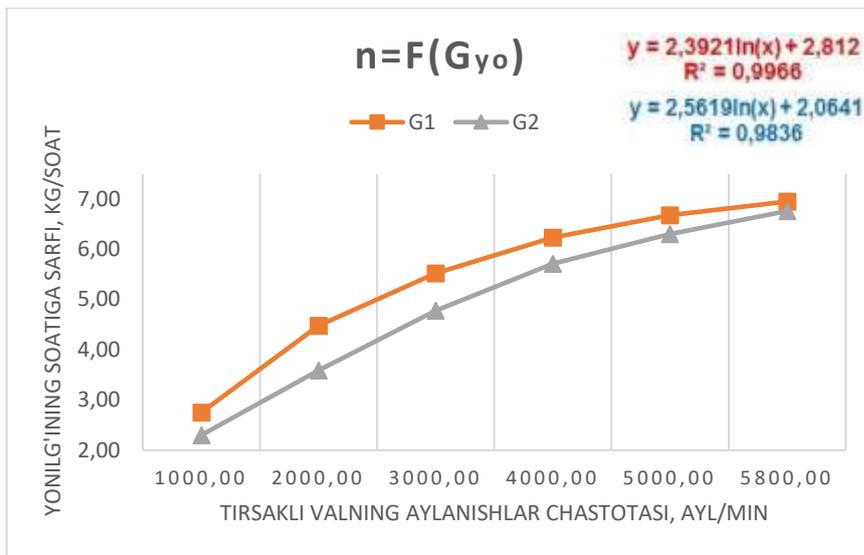
a)



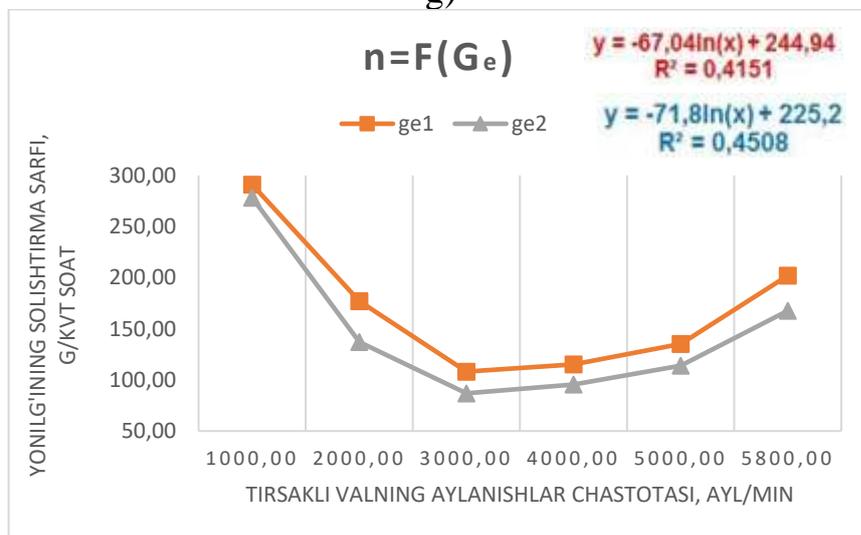
b)



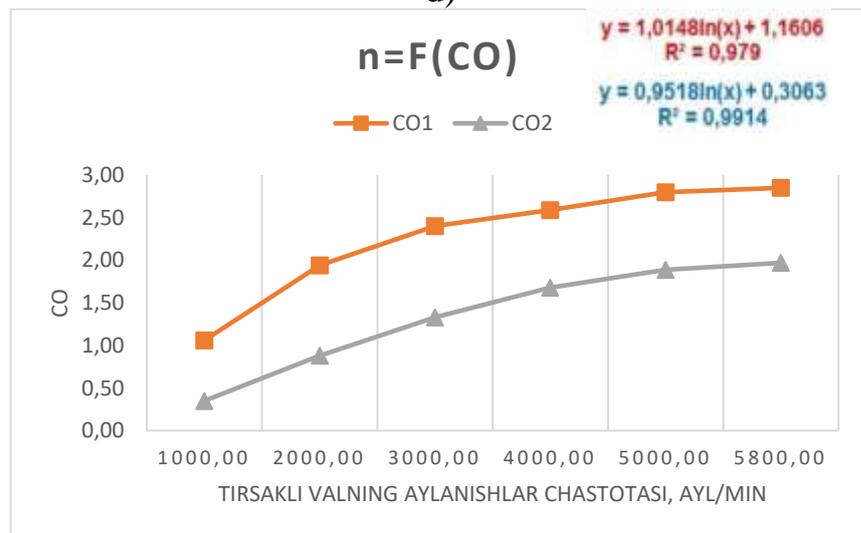
v)



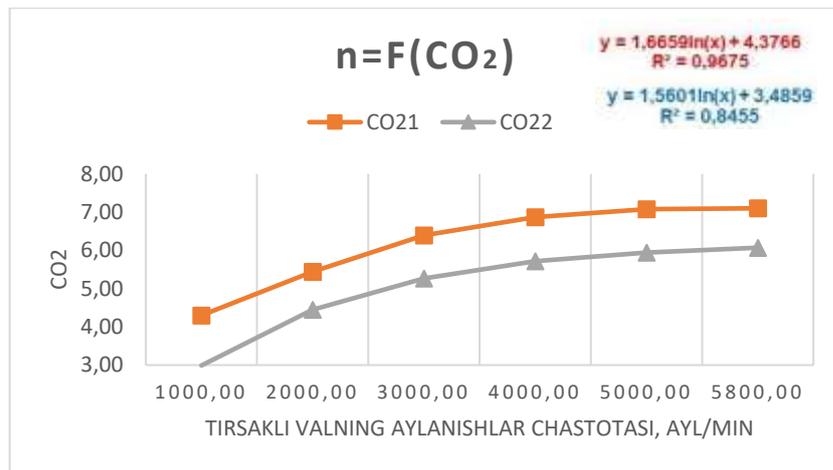
g)



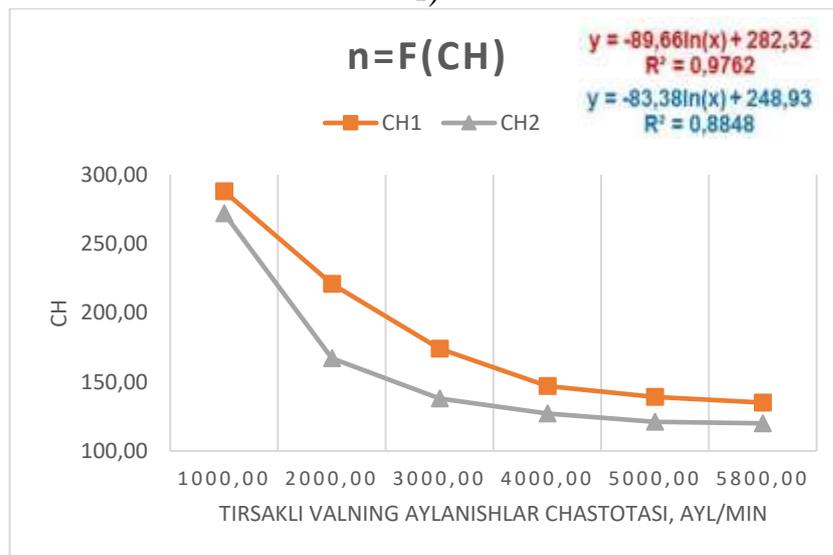
d)



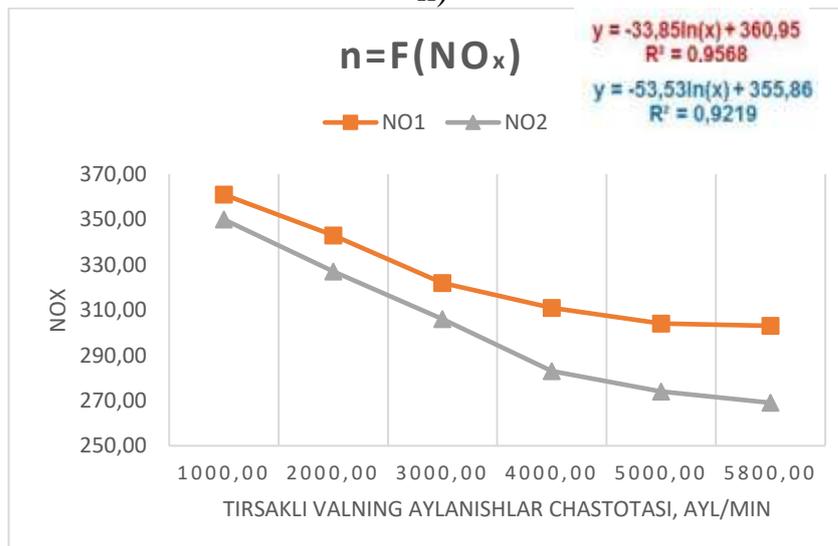
e)



f)



h)



15-rasm. Asosiy yonilg'i sifatida benzin va benzin-vodorod yonilg'isida ishlaydigan ichki yonuv dvigatellarining tashqi tezlik xarakteristikalari va ekologik xususiyatlari. a) dvigatel quvvati; b) burovchi moment; v) soatli yonilg'i sarfi; g) solishtirma yonilg'i sarfi; d) CO; e) CO<sub>2</sub>; f) CH; h) NO<sub>x</sub>.

Asosiy yonilg'i sifatida benzin va benzin-vodorod yonilg'isi bilan ishlaydigan F16D3 yengil avtomobillarining ichki yonuv dvigatellarining eksperimental tashqi

tezlik xarakteristikalarini taqqoslash shuni ko'rsatadiki, tadqiqot uchun o'tkazilgan vodorod miqdori ishonchli energiya va ekologik baholashga mos keladi.

15-rasmda Rapido (Germaniya) sinov stendida sinov natijasida olingan benzin va benzin-vodorod yonilg'isi bilan yengil avtomobillarining F16D3 ichki yonuv dvigatellarining eksperimental tashqi tezlik xarakteristikalari taqqoslandi.

Hisoblangan va tajriba bazaviy benzin (Ai-92) va benzin-vodorod yonilg'isi bo'yicha ma'lumotlarning qiyosiy natijalari 2-jadvalda keltirilgan.

2-jadval

Ko'rsatkichlar	Ishlatiladigan yonilg'i					
	Benzin			Benzin-vodorod yonilg'isi		
	Joriy	Eksperimental	$\Delta$ , %	Joriy	Eksperimental	$\Delta$ , %
Quvvat, kVt	76,6	79,8	3,9	77,8	80,4	3,6
Burovchi moment, Nm	134,6	139,7	3,7	136,9	142,9	4,3
Solishtirma yonilg'i (energiya) sarfi, g/kVt/soat	283,8	272,36	4,2	277,8	265,6	4,5

Qiyosiy hisoblash natijalari va eksperimental ma'lumotlar shuni ko'rsatadiki, benzin-vodorod yonilg'isi bilan quvvat, burovchi moment 4% gacha oshadi va solishtirma yonilg'i iste'moli 4,5% gacha kamayadi.

Qiyosiy poligon va ekspluatatsiya sinovlari jarayonida olingan benzin-vodorod yonilg'isi va benzin-vodorod yonilg'isi bilan ishlaydigan transport vositalarining chiqindilari natijasida maksimal tezlik, tezlashtirish vaqti soatiga 100 km/soat gacha bo'lgan tezlik, elektr energiyasi va CO<sub>2</sub> chiqindilari bo'yicha qabul qilingan qarorlarning ilmiy asosliliigi 3-5- jadvallarda keltirilgan. Poligonal tadqiqotlar natijalari va qiyosiy natijalar va eksperimental ma'lumotlar hisob-kitobiga ko'ra yonilg'i iste'molini tejash 11% gacha ko'rsatilgan.

3-jadval

Poligonal tadqiqot natijalari va eksperimental ma'lumotlarning qiyosiy natijalarini hisoblash

Ko'rsatkichlar		100 km ga o'rtacha yonilg'i sarfi	
		Benzin	Benzin-vodorod yonilg'isi
120 km / soat	Eksperimental	7,79	6,92
90 km / soat	Eksperimental	7,5	6,67

4-jadvalda Toshkent shahar avtomobil yo'llarida asosiy yonilg'i benzin va benzin-vodorod yonilg'isi bilan o'tkazilgan shahar siklidagi yengil avtomobil sinovlari natijalari keltirilgan. Toshkent shahri avtomobil yo'llarida o'tkazilgan shahar sikllarida sinov sinovlari natijasiga ko'ra yonilg'i tejash 7% yetadi.

4-jadval.

Yo'l yo'nalishi	Bosib o'tgan masofa, km	100 km ga o'rtacha yonilg'i sarfi			
		Benzin		Benzin-vodorod yonilg'isi	
		Haqiqiy o'lchov natijasi	O'rtacha	Haqiqiy o'lchov natijasi	O'rtacha
-	15	10,52	10,51	9,87	9,85
-		10,48		9,79	
+		10,54		9,86	
+		10,50		9,85	

Dvigatelning tirsakli vali tezligi  $n = 800 \text{ min}^{-1}$  da, benzin bilan uglerod oksidi 0,7%, uglerod oksidi miqdori vodorod qo'shilgan holda 129 mil<sup>-1</sup>, benzin-havo aralashmasi uglerod oksidi 0,33%, uglerod hajmi dozasi 97 mil<sup>-1</sup> (5-jadval).

5-jadval

Yonilg'i	Dvigatel tirsakli vali tezligi, min <sup>-1</sup>	Uglerod oksidi, %	Uglerod hajmi dozasi, mil <sup>-1</sup>
Benzin	$n=800 \text{ min}^{-1}$	0,7	129
Benzin-vodorod yonilg'isi	$n=800 \text{ min}^{-1}$	0,33	97

2015-2024 yillarda Toshkent avtomobil yo'llari instituti, Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti va Piskent avtomobil poligonida yengil avtomobil dvigatellarining qiyosiy laboratoriya, stend va ekspluatatsiya tadqiqotlari, benzin yonilg'isi va benzin-vodorod yonilg'isi ishlari olib borildi.

**"Eksperimental tadqiqot natijalarini umumlashtirish va ularning tahlili"** nomli dissertatsiyaning beshinchi bobida benzin-vodorodni yonilg'ini ishlatishning istiqbollari va iqtisodiy foydalari, yonish davrining o'zgarishi va avtomobil bortida vodorod olish xarajatlari baholangan.

Aralashmaning tarkibiga ko'ra vodorod qo'shilishidan yonish fazasining nisbiy davomiyligi 18-rasmda ko'rsatilgan. Rasmdan ko'rinib turibdiki, vodorod qo'shilishi bilan yonish fazasining davomiyligi kamayadi, chunki benzin yonilg'isiga vodorodning 20 foizi qo'shilishi bilan yonish tezligi oshadi va davomiyligi qisqaradi.

Benzin yonilg'isiga diffuziyali vodorodni qo'shish va massa miqdorini o'rganish quyidagi formulalar bo'yicha hisoblab chiqildi:

$$g_{H_2} = \frac{(G_{H_2})}{(G_{H_2} + G_b)},$$

bu erda  $G_{H_2}$  - benzin yonilg'isidagi vodorodning massa ulushi;  $G_b$  - havo aralashmasi yonilg'isidagi benzinning massa ulushi.

Bu ibora bilan izohlanadi, bu holda biz faqat gazsimon yonilg'ida uglerodning massa fraksiyalarini ko'rib chiqamiz:

$$g_c = \frac{(1 - g_{H_2})}{(1 + \alpha[(1 - g_{H_2}) + g_{H_2}L_{H_2}])(\mu_c/\mu_b)}$$

bu erda  $L_b$  - 1 kg benzinning yonishi uchun nazariy jihatdan talab qilinadigan havo miqdori ( $L_b = 14,45 \text{ kg}$ );

$L_{H_2}$  - 1 kg vodorodning yonishi uchun nazariy talab qilinadigan havo miqdori ( $L_{H_2} = 34,48 \text{ kg}$ );

$g_{H_2}$  - yonilg'i aralashmasidagi vodorodning massa ulushi;  $\mu_c$  - uglerodning atom massasi ( $\mu_c = 12 \text{ g / mol}$ );

$\mu_b$  - benzinning molekulyar og'irligi ( $\mu_b = 112,88 \text{ g / mol}$ );

$\alpha$  havoning ortiqchilik koeffitsienti.

Formulani tahlil qilib, benzina vodorod qo'shilishi bilan uglerodning massa ulushi yuqori ekanligini payqaymiz. Shunday qilib,  $\alpha = 1,0$  va  $H_2 = 5\%$ ,  $g_c = 0,042$  va  $H_2 = 20\%$  da benzindagi uglerodning massa ulushi  $g_c = 0,036$  ga teng.

Biz benzin-havo aralashmasi uchun uglerod chiqindilarini 0, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50% vodorod qo'shilishi bilan aniqlaymiz (6-jadval):

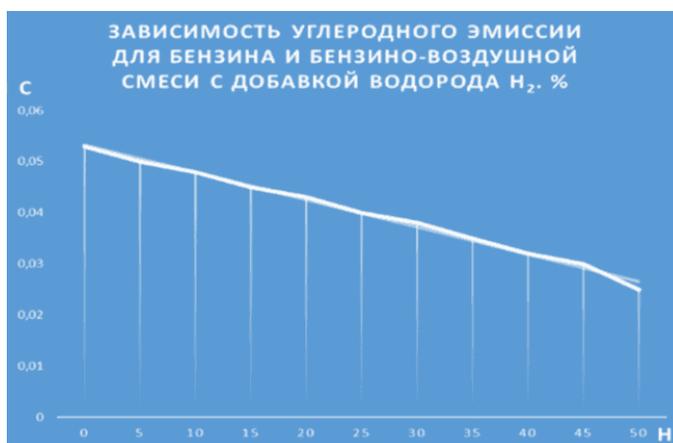
$$G_C = \frac{(G_B)}{(L_B G_{T_{бен}} + L_{H_2} G_{H_2})}$$

16-rasmni tahlil qilish shuni ko'rsatadiki, uglerod chiqindilari vodorod qo'shilishi va aralashmaning kamayishi bilan kamayadi.

6-jadval

Benzin-havo aralashmasiga vodorod qo'shimchalari, H <sub>2</sub> %	benzin-havo aralashmasi uchun uglerod chiqindilari, GC
0	0,053
5	0,05
10	0,048
15	0,045
20	0,043
25	0,04
30	0,038
35	0,035
40	0,032
45	0,03
50	0,025

Tekshiruvlar natijalari qurilma 2% ishlayotgan paytda va vodorod qo'shimchalari mavjud bo'lganda uglerod emissiyasi H<sub>2</sub> = 50% da  $\alpha = 1$  minimal qiymatiga ega ekanligini ko'rsatadi. Benzin-havo aralashmasiga vodorod ulushini qo'shishni boshlaganimizda, xuddi shu narsa sodir bo'ladi, uglerod chiqindilari kamayadi.



16-rasm. Benzin -vodorod yonilg'isi uchun uglerod emissiyalarining H<sub>2</sub> % bog'liqligi

Eksperimental tadqiqotlar natijalari, vodorod qo'shimchalarining benzin yonilg'isi iste'molini kamaytirishga ta'siri bo'yicha eksperimental ma'lumotlarni tahlil qilaylik. Sinovlar bortdagi elektrolizzerdan vodorod etkazib berish tizimi bilan jihozlangan Lassetti yengil avtomobilining dvigatelida o'tkazildi, ma'lumotlar 7-jadvalda umumlashtirildi.

Vodorod ishlab chiqarishning laboratoriya tahlillari shuni ko'rsatdiki, bir kg portlovchi gaz (vodorod + kislorod) minimal qiymati 19014 so'mni tashkil etadi. O'zbekistonda suvni elektroliz bilan olingan 1 kg portlovchi gazning qiymati bu jarayonda ishlatiladigan elektr energiyasi qiymatiga bog'liq. Elektr energiyasi har bir

kilogramm gaz uchun o'rtacha 2 dollarni tashkil etadi. Avtomobil bortida ishlab chiqarilgan vodorod, bu vodorod zichligini hisobga olgan holda ( $\rho = 0,09 \text{ kg/m}^3$ ) 0,0162 kg ni tashkil etadi. Elektrolizör vodorod ishlab chiqaradi ( $60 \text{ daqiqa} * 3 \text{ litr} = 180 \text{ litr} = 0,18 \text{ m}^3$ ). Bir litr vodorod  $0,001 \text{ m}^3$ , bu vodorod zichligi ( $\rho = 0,09 \text{ kg/m}^3$ ) hisobga olinsa,  $0,09 * 0,18 = 0,0162 \text{ kg}$  ni tashkil qiladi. Shu bilan birga, benzinning o'rtacha narxi 1 litr uchun 6100 so'mni tashkil etadi.

7-jadval

AI-92 benzinda ishlayotganda vodorod qo'shimchalarining iqtisodiy samaradorligi

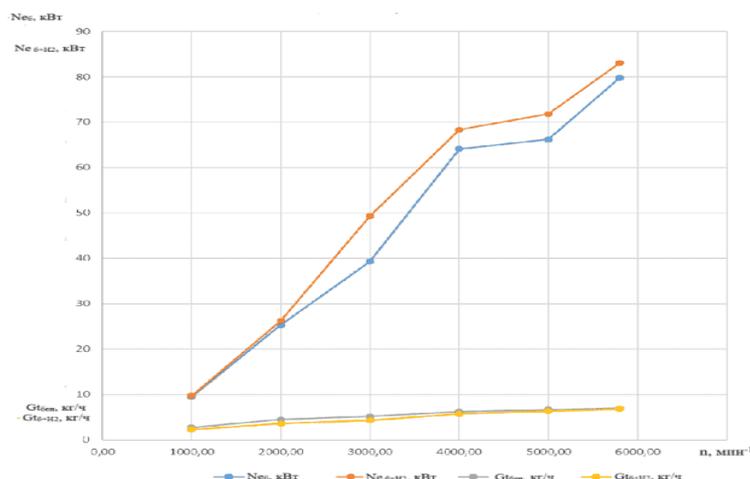
n, min <sup>-1</sup>	Neb, kVt	Ne <sub>b+H2</sub> , kW	Gtben, kg / soat	Gt <sub>b+H2</sub> , kg / soat	GtH <sub>2</sub> , kg / soat (elektrolizör hajmi ustida 1 daqiqa 3 litr Portlovchi gaz)	Yonilg'i iste'molining umumiy narxi, so'm. A-92 benzining 1 litri 6100 so'm turadi	Yonilg'i iste'molining umumiy qiymati benzin bilan ishlayotganda vodorod qo'shimchalari summasi. ( $19014 * 0,0162 = 308 \text{ so'm}$ )	Tejalgan benzin narxi, Pektament, so'm/l.
1000	9,45	9,72	2,75	2,30	0,0162	16 775	14338	2 437
2000	25,29	26,21	4,48	3,59	0,0162	27328	22207	5121
3000	39,28	49,26	5,12	4,28	0,0162	31232	26416	4816
4000	64,10	68,34	6,23	5,71	0,0162	38003	35139	2864
5000	66,20	71,80	6,68	6,30	0,0162	40748	38738	2010
5800	79,80	83,05	6,95	6,76	0,0162	42395	41544	851

Agar avtomobil dvigateli tirsakli valning  $n = 800$  dan  $5800 \text{ min}^{-1}$  devirli rejimlarida ishlayotgan bo'lsa, unda yonilg'i iqtisodi benzinning o'rtacha qiymati vodorod qo'shilishi bilan benzin-havo aralashmasini uyg'otadi

$$P_{\text{Bo'r}} = \sum P_{\text{BB}} / 6 = 15662 / 6 = 2610 \text{ so'm/l.}$$

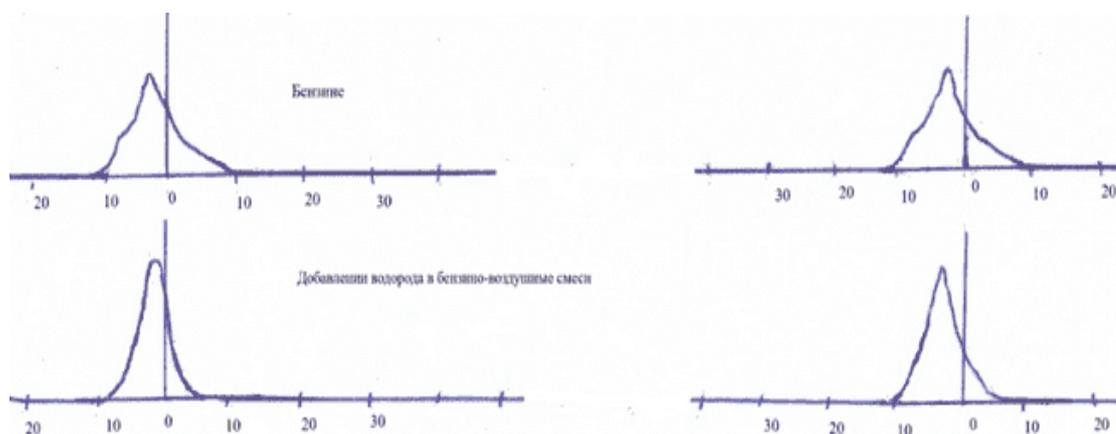
7-jadvalda ko'rsatilganki, vodorod qo'shimchalaridan foydalanishning iqtisodiy samaradorligi benzin narxining 1 litr uchun o'rtacha 2610 so'mgacha kamayishi mumkin.

Olingan ma'lumotlarni tahlil qilish natijasida benzin-vodorod yonilg'isidan foydalanish iqtisodiy jihatdan oqlanadi, taxminan bir litr benzin uchun o'rtacha 2610 so'm qiymatiga teng bo'lib, dvigatelning turli ishlash rejimlarida quvvati 5 dan 10 foizgacha yaxshilanadi.



17-rasm. Dvigatelning quvvat va iqtisodiy ko'rsatkichlari: benzin-havo aralashmasiga vodorod qo'shilishi

Benzin va benzin-vodorod yonilg'ilarida yonish davomiyligi fazalarining o'zgarishini o'rganish ichki yonuv dvigatellarining samaradorligini oshirish va atrof-muhitga ta'sirini kamaytirish uchun yangi imkoniyatlarni ochadi (18-rasm). Keyingi tadqiqotlar yonish jarayonini amalga oshirish va optimallashtirishning texnik jihatlariga qaratilishi kerak.



18-rasm. Benzin va benzin-vodorod yonilg'ida yonish davrlari

**“Dvigatelning iqtisodiy va ekologik ko'rsatkichlari va eksperimental tadqiqot natijalarini amalda qo'llash imkoniyati” nomli dissertatsiyasining oltinchi bobida** tadqiqot natijalarini amaliyotga tatbiq etish, tajribalar natijalarini taqqoslash va baholash, ularning ekologik va iqtisodiy samaradorligi uchun qo'llanilishi bo'yicha tavsiyalar keltirilgan.

Jahon tajribasida vodorodni ichki yonuv dvigatellari uchun yonilg'i sifatida ishlatish, birinchi navbatda, karbonat angidrid chiqindilarining kamayishi bilan bog'liq - CO<sub>2</sub>.

O'rta sinf yengil avtomobillari uchun issiqxona gazlari chiqindilari 135 g/km ni tashkil etadi, kelajakda yangi texnik yechimlarni izlash va amalga oshirish natijasida uni 90 g/km gacha kamaytirish kerak.

Biz bilamizki, 1 kg uglerod to'liq yonib ketganda, kimyoviy reaksiya natijasida 3,67 kg karbonat angidrid ajralib chiqadi, bu benzinning yonilg'i iste'moliga mos kelishi mumkin taxminan 5,3 litr/100 km.

Shu bilan birga, past uglerodli tarkibi yoki turli xil H: C nisbatlari bilan vodorod, efir va spirtli ichimliklarni ishlatish CO<sub>2</sub> chiqindilarini sezilarli darajada kamaytiradi.

Benzin va vodorod bo'lgan yonilg'ildagi uglerod konsentratsiyasi qo'shimchalar printsipi bo'yicha aniqlanadi (8-jadval):

8-jadval

Benzin va benzin-vodorod yonilg'isidagi uglerod konsentratsiyasi

Vodorod konsentratsiyasi, H <sub>2</sub> , %	i-yonilg'idagi uglerod ulushi, Gi	Yonilg'i aralashmasidagi i-chi komponentning ulushi, GI	Benzin va vodorod bo'lgan yonilg'ildagi uglerod konsentratsiyasi
5	85,5	0,95	81,22

10	85,5	0,90	76,95
15	85,5	0,85	72,62
20	85,5	0,80	68,4
25	85,5	0,75	64,125
30	85,5	0,70	59,85
35	85,5	0,65	55,57
40	85,5	0,60	51,3
45	85,5	0,55	47,025
50	85,5	0,50	42,75

$$S_{BV} = \sum_{i=1}^n G_i g_i, (4.1)$$

bu erda  $G_i$  - i-yonilg'idagi uglerodning ulushi;

$g_i$  - yonilg'i aralashmasidagi i-chi komponentning nisbati.

Bunday holda, issiqxona ta'sirining ko'rsatkichi (9-jadval):

$$K_{PE} = \frac{S_{BV}}{S_b} (4.2)$$

$S_{BV}$  - benzin-havo aralashmasiga vodorod qo'shilishidagi uglerod konsentratsiyasi;

$S_b$  - uglerodning vodoroddagi 0 gacha bo'lgan konsentratsiy hisoblanadi.

9-jadval

Benzin-vodorod yonilg'isi bilan issiqxona ta'sirini hisoblash

№	Yoqilg'i nomi	Yonilg'i zichligi, kg/l	Yonilg'i narxi, so'm/l
1	Benzin	760	6100
2	Vodorod	0,09 kg / m <sup>3</sup>	1711
3	Benzin-havo aralashmasi vodorod hissa	760	5222

Bu shuni anglatadiki, benzin-havo aralashmasida 20% gacha vodorod qo'shimchasidan foydalanganda eksperimental ma'lumotlarimizga ko'ra yonilg'ining uglerod miqdori 20% dan ko'proq kamayadi.

Ushbu qurilmadan foydalanish benzin-havo aralashmasiga qo'shilgan vodorod miqdori kamida 20% bo'lishini ta'minlashi kerak.

11-jadvalda vodorodni yonilg'i quyish uchun konvertatsiya qiluvchi transport vositalarining o'zini qoplashni hisoblash uchun ishlatiladigan iqtisodiy ko'rsatkichlar, ya'ni vodorod elektrolizi uskunalari o'rnatish keltirilgan. Shunday qilib, benzin-havo aralashmasiga vodorod qo'shish uchun yengil avtomobil dvigatelini modernizatsiya qilish, ya'ni vodorod elektrolizerini o'rnatish 3,5 oy ichida o'z samarasini beradi.

Aralash motor yonilg'isi narxi quyidagi formula yordamida hisoblab chiqiladi

$$T_{BV} = \sum_{i=1}^n C_i g_i, \text{ so'm/l} (4.3)$$

bu erda  $T_{BV}$  - aralash yonilg'ining narxi;

$C_i$  - yonilg'i aralashmasining i-chi komponenti narxi, so'm/l;

$g_i$  - yonilg'i aralashmasining i-chi komponentining fraktsiyasi.

Yonilg'ining narxi va zichligi jadval rasmida keltirilgan (10-jadval).

Tavsiya etilgan benzin-havo aralashmasiga vodorod qo'shib, ya'ni aralashirilgan yonilg'i narxini hisoblash

$T_{ben80} + vod20 = T_{ben} \cdot 0,80 + vodorod \cdot 0,20 = 6100 \cdot 0,80 + 1711 \cdot 0,2 = 5222$  so'm / l.

Bu erda,  $T_{ben}$  - benzin narxi; Vodorod - vodorodning narxi;

$T_{ben80} + vod20$  aralash yonilg'i narxi hisoblanadi.

10-jadval

### Yonilg'i narxi va zichligi

Vodorod konsentratsiyasi, N <sub>2</sub> , %	Benzin va vodorod bo'lgan yonilg'illardagi uglerod konsentratsiyasi	Issiqxona ta'siri koeffitsienti, CRE
5	81,22	0,95
10	76,95	0,90
15	72,62	0,85
20	68,4	0,80
25	64,125	0,75
30	59,85	0,70
35	55,57	0,65
40	51,3	0,60
45	47,025	0,55
50	42,75	0,50

Benzin va benzinning havo bilan aralashmasiga vodorod qo'shish yo'li bilan aralash yonilg'idan foydalanishning energiya va ekologik samaradorligini hisoblash jadval rasmida keltirilgan (11-jadval).

Benzin-havo aralashmasida vodorod qo'shimchalaridan foydalanganda Chevrolet Lachetti kabi avtomobilning iqtisodiy va ekologik ko'rsatkichlarini o'rganish qiziqarli xulosalarga olib kelishi mumkin. Asosiy jihatlar quyidagilarni o'z ichiga oladi:

Iqtisodiy ko'rsatkichlar:

1. Yonilg'i iste'moli: vodorodni qo'shganda, benzinning umumiy iste'molini kamaytiring, chunki vodorod aralashmaning yanada to'liq yonishiga yordam beradi. Samarali yonish, berilgan quvvatga erishish uchun zarur bo'lgan yonilg'i miqdorini kamayishiga olib kelishi mumkin.

2. Yonilg'i narxi: vodorod mavjudligi va narxiga qarab, umumiy yonilg'i xarajatlari o'zgarishi mumkin. Vodorod ishlab chiqarish yoki yonilg'i quyish uchun qo'shimcha xarajatlarni talab qilishi mumkin.

3. Texnik xizmat: Dvigatelni vodorod qo'shimchalarida ishlash uchun yangilash qo'shimcha uskunalari va texnik xarajatlarni talab qilishi mumkin, ammo bu yonilg'i iste'molining kamayishi bilan qoplanishi mumkin.

4. Uskunalarining hayoti: Termodinamik sharoitlardagi o'zgarishlar dvigatelning yeyilishiga ta'sir qilishi mumkin, bu iqtisodiy hisob-kitoblarda ham hisobga olinishi kerak.

5. Ekologik ko'rsatkichlar:

6. Vodoroddan foydalanish karbonat angidrid (CO<sub>2</sub>) chiqindilarini kamaytirishga yordam beradi. Vodorod toza yonishi sababli, chiqindida uglevodorodlar miqdori sezilarli darajada past bo'lishi mumkin. Vodorod-benzin

aralashmasining yonishi uglerod oksidi chiqindilarining kamayishiga olib kelishi mumkin, bu esa havo sifatiga ijobiy ta'sir ko'rsatadi. Ravon va teng ravishda yonish natijasida, shovqin va tebranish darajasi kamayadi.

11-jadval

**Benzin va benzin-havo aralashmasiga vodorod qo'shilishi tufayli aralash yonilg'idan foydalanishning energiya va ekologik samaradorligi.**

№	Ko'rsatkichlar	Birlik	Lek avtomobili 1,6 litr dvigatelli		Izoh
			Benzin	Qo'shimcha vodorod, benzin-havo aralashmasi	
1	Yonilg'i narxi	so'm/l	6100	5222	
2	100 km ga yonilg'i iste'moli	100 km/l.	7,5	6,67	
3	100 km ga yonilg'i narxi	So'm/100km	45 750	34831	
4	Masofa bosib o'tgan masofa nisbati	%	100	83	
5	Yillik kilometr	ming kilometr	75	75	
6	Yillik yonilg'i iste'moli	mln so'm	34,312 500	26,123250	
7	Yillik yonilg'i tejash	mln so'm	-	8,189 250	
8	Uskunalar narxi	mln so'm	-	2,5	
9	Chiqimlarni qoplash muddati	yilga	-	3.5 oy	
10	Yo'l bo'ylab chiqindi gazlari - Uglerod oksidi - Uglevodorodlar - azot oksidlari - ko'k, kg / km	(kg/yil)	0,0106 (795) 0,00129(96,75) 0,00064 (48) 0,0111 (832,5)	0,009 (675,7) 0,001096 (82,2) 0,00054 (40,5) 0,00944 (707,6)	Muayyan ifloslantiruvchi chiqindilari, kg / kg B (B80+V20) SO 0.01 (0.009) CH 0.00129 (0.00109) NOx 0,00064 (0,00054) CO2 0.0111 (0.00944)
11	Yillik kilometrga atrof-muhitga zarar – uglerod oksidi -Uglevodorodlar – azot oksidlari -Kuk	Ming so'm	5,29 2,28 20,11 368,8	4,22 1,92 13,27 293,2	Kompensatsiya to'lovlari miqdori, so'm/kg: SO - 6.24 CH – 23.4 NOx – 327, 6 CO2 – 414,360
12	Atrof-muhitga etkazilgan umumiy yillik zarar	Ming so'm	396,48	312,61	–
13	Atrof-muhitga har yili etkazilgan zararni oldini oldi	Ming so'm	–	98,65	–
14	Yiliga bitta avtomobilni boshqarishning umumiy yillik energiya va atrof-muhitga ta'siri	mil. yig'indi	–	2,91838	

Benzin-vodorod yonilg'isi yonish samaradorligini oshiradi, ifloslantiruvchi chiqindilarni kamaytiradi va dvigatel quvvatini oshiradi. Buning sababi shundaki, vodorod benzininga nisbatan yuqori yonish tezligiga va toza yonish jarayoniga ega.

Benzin-vodorod yonilg'isini amalda qo'llash imkoniyatlarini tahlil qilish bir necha jihatlarni o'z ichiga oladi:

1. Ekologik foydalar: CO<sub>2</sub> va azot oksidi va uglerod oksidi kabi zararli moddalar chiqindisini kamaytiradi, bu zamonaviy ekologik standartlarga javob beradi.

2. Yonish samaradorligi: vodorod yonish tezligini va energiya samaradorligini oshiradi, bu dvigatelning yaxshi quvvatiga va samaradorligiga olib kelishi mumkin.

3. Texnologik muammolar: vodorodni benzin bilan xavfsiz va samarali aralashtirishni ta'minlash uchun dvigatellar va yonilg'i ta'minoti tizimlarini moslashtirish zarurati.

4. Iqtisodiy jihatlar: vodorod ishlab chiqarish va saqlash xarajatlarini, shuningdek infratuzilmaga mumkin bo'lgan investitsiyalarni baholash.

5. Xavfsizlik: portlashning yuqori potentsiali bilan bog'liq xatarlarni va vodorodni maxsus sharoitlarda saqlash zarurligini hisobga olgan holda.

Ichki yonuv dvigatellariga vodorodni kiritishning amaliy jihatlari bir nechta muhim yo'nalishlarni o'z ichiga oladi:

1. Quyish tizimini o'zgartirish: Samarali vodorodni yonish uchun vodorodning benzina optimal nisbatini ta'minlash va dvigatelning ishlash rejimiga muvofiq yonilg'i ta'minotini boshqarish uchun purkash tizimini o'zgartirish yoki yangilash kerak.

2. O't oldirish tizimiga moslashish: Vodorodning yonish tezligi yuqori bo'lganligi sababli, ilgari yonishni ta'minlash uchun o't oldirish tizimlarini o'zgartirish kerak bo'lishi mumkin. Bu portlash muammosini bartaraf etishga yordam beradi va aralashmaning optimal yonishini ta'minlaydi.

3. Sovutish tizimini yaxshilash: Yonish haroratining oshishi va ish tsiklidagi o'zgarishlar haddan tashqari qizib ketishning oldini olish uchun dvigatel sovutish tizimini yaxshilashni talab qilishi mumkin.

4. Moddiy ishlash: Vodorod korozyon va ba'zi materiallar kiyishiga olib kelishi mumkin. Bu ta'minlash tizimi komponentlar va yonilg'i uchun vodorodga chidamli materiallardan foydalanishi kerak.

5. Emissiya nazorati: o'zgartirilgan yonish rejimini hisobga olgan holda zararli chiqindilarni, ayniqsa, azot oksidlarini (NO<sub>x</sub>) kamaytirish uchun chiqindilarni tozalash va nazorat qilish tizimlarini o'rnatish.

6. Sinov va tasdiqlash: Vodoroddan foydalanganda dvigatelning samaradorligi va ishonchliligini baholash uchun har qanday o'zgartirishlarni amalga oshirishdan oldin keng sinov va tekshirish o'tkazilishi kerak.

7. Infratuzilmani rivojlantirish: vodorod ishlab chiqarish, saqlash va yonilg'i quyish uchun infratuzilmani rivojlantirish talab etiladi, bu vodorod stantsiyalarini yaratish va logistikani optimallashtirishni o'z ichiga olishi mumkin.

8. Kadrlarni o'qitish: O'zgartirilgan dvigatellarni texnik xizmat ko'rsatish va ishlatish bilan shug'ullanadigan ishchilar vodorod va yangi texnologiyalarni xavfsiz ishlatish bo'yicha mashg'ulotlardan o'tishlari kerak.

9. Moliyaviy investitsiyalar: Vodorodni joriy etish biznes-rejada hisobga olinishi kerak bo'lgan asbob-uskunalar va texnologiyalarni modernizatsiya qilish uchun katta dastlabki investitsiyalarni talab qiladi.

Ushbu jihatlar ichki yonuv dvigatellariga vodorodni muvaffaqiyatli va xavfsiz kiritish uchun keng qamrovli yondashuv va diqqat bilan rejalashtirishni talab qiladi.

## ASOSIY NATIJALAR VA XULOSALAR

1. Qazib olinadigan uglevodorod zaxiralarining kamayishi va iqlim o'zgarishi bilan bog'liq muammolarni tahlil qilish energetikaning barcha sohalarida, shu jumladan transport vositalarida uglerod chiqindilarini nol chiqarish bo'yicha shoshilinch choralar ko'rish zarurligini ko'rsatadi. Biroq, "issiqxona effekti" va "ozon teshiklari" nazariyalarining zaifligi tabiatdagi uglerod siklining biologik zaruriyatida yotadi.

2. Jahon yo'lovchi transportining asosini asosan xususiy mulkdagi bo'lgan yuqori tezlikdagi ichki yonuv dvigatellari (Otto dvigatellari) bilan jihozlangan avtomobillar tashkil etadi. Yashil harakat tarafdorlari izlayotgan chiqindi gazlarining uglerod chiqindilarini bir martalik taqiqlash va dvigatellarni **toza yonilg'i - vodorodga** aylantirish global miqyosda ijtimoiy portlashni keltirib chiqarishi mumkin, chunki bu voqea ishlayotgan yuz millionlab avtomobillarni yaroqsiz holga keltiradi.

3. Transport vositalarini ekologik toza yonilg'iga o'tkazish, ishlayotgan avtomobillarning jismoniy eskirishi sifatida, chiqindi gazlari bilan CO<sub>2</sub> chiqindilari uchun qat'iy standartlarga rioya qilish kerak.

4. Suvni elektroliz qilish jarayonida ro'y beruvchi elektrokimyoviy jarayonlarning nazariy tahlili elektrolitning ratsional tarkibi hamda vodorod va kislorod gazini (jigarrang gaz yoki portlovchi gaz) olish usulini tanlash imkonini berdi. Otto termodinamik tsiklida yonilg'ining hajmli yonish nazariyasi asoslari shakllantirilgan va ularda vodorod va kislorod ionlarining ishtiroki ahamiyati ko'rsatiladi. Otto tsikli bilan dvigatellardagi uglerod chiqindilarini yonish jarayonini faollashtirish energiyasini oshirish orqali sezilarli darajada kamaytirish ehtimoli nazariy jihatdan asoslangan. Benzin-vodorod yonilg'i aralashmasining faollashuv darajasini baholash imkonini beruvchi analitik bog'liqliklar olinadi.

5. Tezlik va yuk rejimining keng diapazonida samarali yonishni ta'minlovchi benzin-vodorod yonilg'isi ikkilik aralashmasi nazariy jihatdan yengil avtomobilning F16D3 dvigateli misolida asoslangan.

6. Dvigatelning ishlash jarayonini o'rganish uchun (benzin va benzin-havo aralashmalariga vodorod qo'shganda) ilmiy tadqiq chiqarish uchun tajriba qurilmalari zamonaviylashtirildi. Dvigatelning ishlash rejimlarini hisobga olgan holda vodorodni ishlab chiqarish va uzluksiz etkazib berish uchun vodorod generatori (elektrolizer) o'rnatilishi takomillashtirildi. Benzin va benzin-vodorod yonilg'isida ishlaydigan dvigatel jarayonlarini tekshirish uslubi ishlab chiqildi.

7. Dvigatelning tashqi tezlik xususiyatlarini matematik hisoblash natijalari shuni ko'rsatadiki, benzin-havo aralashmasiga vodorod qo'shilishi dvigatelning

energiya va iqtisodiy ish faoliyatini yaxshilaydi. Benzin-vodorod dvigatelining tirsakli val tezligi oshishi bilan to'ldirish darajasi  $\eta_v$  3% gacha oshadi.

8. Olingan eksperimental natijalar shuni ko'rsatadiki, benzin-vodorod yonilg'ida yonish jarayoni yonish kamerasining kichikroq hajmida qisqa vaqt ichida amalga oshiriladi, bu silindrdagi maksimal bosimni 5-7% ga oshiradi va shu bilan dvigatelning quvvat xususiyatlarini yaxshilaydi. Benzin-vodorod yonilg'isi bilan dvigatel silindridagi o'rtacha samarali bosim 9% ga oshdi. Benzin-havo aralashmasiga vodorod qo'shilganda, silindrga quyiladigan yonilg'i miqdori 15% gacha kamaydi. Olingan tashqi tezlik xususiyatlari, dvigatelning turli rejimlari, benzin va benzin-vodorod yonilg'isi bilan ekologik baholash CO 30-50%, CH 6-20%, NO<sub>x</sub> 5-12% va issiqxona galari, karbonat angidrid CO<sub>2</sub> 15-30% miqdoridagi zararli chiqindilarni kamaytirish uchun o'tkazildi.

9. Asosiy yonilg'i sifatida benzin va benzin-vodorod yonilg'isi bilan ishlaydigan F16D3 yengil avtomobillari ichki yonuv dvigatellarining eksperimental tashqi tezlik tavsiflarini solishtirish quvvat ko'rsatkichlarining 5-7 foizga, iqtisodiy ko'rsatkichlarning 15 foizga o'sishini ko'rsatadi. Poligonal tadqiqotlar natijalari va qiyosiy natijalar va eksperimental ma'lumotlar hisob-kitoblariga ko'ra iqtisodiy samaradorlik yonilg'i sarfini 11 foizgacha tejashni ko'rsatadi. Toshkent shahri avtomobil yo'llarida o'tkazilgan shahar siklida sinov natijalariga ko'ra yonilg'i 7% tejalgan. O'tkazilgan sinovlarga ko'ra, benzin bilan uglerod oksidi 0,7 foiz, hajmi bo'yicha uglerod 129 mil<sup>-1</sup>; uglerod oksidi benzin-vodorod yonilg'isi bilan 0,33 foiz, uglerod hajmi bo'yicha 97 mil<sup>-1</sup> tashkil etgani aniqlandi.

10. Dvigatelning ishlash rejimida yonish fazasining davomiyligini aniqlash uchun ishlab chiqilgan uslubga muvofiq, yonish fazasining umumiy vaqti va davomiyligi aniqlanadi. Benzin-vodorod yonilg'isi bilan yonish fazasining davomiyligi 5<sup>o</sup> dan 7<sup>o</sup> gacha kamayadi, bu aralashmaning to'liq yonishi uchun zarur bo'ladi. Bu dvigatel silindridagi maksimal bosimga tezroq erishishga olib keladi.

11. Benzin-vodorod yonilg'isidan foydalanish iqtisodiy jihatdan asosli bo'lib, bir litr benzin uchun 2610 so'mgacha bo'lib, dvigatelning turli ish rejimlarida quvvatini 5 dan 10 foizgacha oshiradi. Taqdim etilgan ishda vodorodni avtomobil bortida olish narxi baholandi, bu vodorod narxi biroz pasayganini va iste'molchilar uchun jozibadorligini ko'rsatadi. Bizning eksperimental ma'lumotlarimizga ko'ra, benzin-vodorod yonilg'isidan foydalanganda yonilg'i tarkibidagi uglerod miqdori 20% dan ko'proq kamayadi. Bitta yengil avtomobilni benzin-vodorod yonilg'isi bilan ekspluatatsiya qilishning yillik energiya va ekologik samaradorligi 2,9 mln. so'mni tashkil etib, yillar davomida bartaraf etilishi kerak bo'lgan atrof-muhitga etkaziladigan zarar 98,7 ming so'mni tashkil etdi.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ  
DSc.15/31.08.2022.Т.73.03 ПРИ ТАШКЕНТСКОМ  
ГОСУДАРСТВЕННОМ ТРАНСПОРТНОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

---

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**

**ИСМАТОВОВ ЖУМАНИЕЗ ФАЙЗУЛЛАЕВИЧ**

**НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ПРИМЕНЕНИЯ БЕНЗИНО-  
ВОДОРОДНОГО ТОПЛИВА ДЛЯ МИНИМИЗАЦИИ УГЛЕРОДНОЙ  
ЭМИССИИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДВИГАТЕЛЕЙ ЛЕГКОВЫХ  
АВТОМОБИЛЕЙ**

**05.08.06 – Колесные и гусеничные машины и их эксплуатация**

**АВТОРЕФЕРАТ  
докторский диссертации (DSc) по техническим наукам**

**Ташкент – 2025**

Тема диссертации доктора (DSc) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан под номером B2025.1.DSc/T191.

Диссертация выполнена в Ташкентском государственном техническом университете и Ташкентском государственном транспортном университете.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме) размещен на веб-странице ([www.tstu.uz](http://www.tstu.uz)) и на Информационно-образовательном портале «Ziyonet» ([www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz)).

**Научный консультант:**

**Кадиров Сарвар Мукадирович**  
доктор технических наук, академик

**Официальные оппоненты:**

**Мухитдинов Акмал Анварович**  
доктор технических наук, профессор

**Шарипов Кунгирот Авазембетович**  
доктор технических наук, профессор

**Кадир Айдин**  
доктор технических наук, профессор

**Ведущая организация:** **Национальный исследовательский университет «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства»**

Защита диссертации состоится « \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 года в \_\_\_ часов на заседании Научного совета DSc.15/31.08.2022.T.73.03 при Ташкентском государственном транспортном университете (Адрес: 100167, г. Ташкент, ул. Темирйулчилар, 1. Тел.: (99871) 299-00-01, факс: (99871) 293-57-54 e-mail: [rectorat@tstu.uz](mailto:rectorat@tstu.uz), [tashiit@exat.uz](mailto:tashiit@exat.uz) ).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного транспортного университета (зарегистрирована под номером № \_\_\_). Адрес: 100167, г. Ташкент, ул. Темирйулчилар, 1. Тел.: (99871) 299-00-01, факс: (99871) 293-57-54 e-mail: [rectorat@tstu.uz](mailto:rectorat@tstu.uz), [tashiit@exat.uz](mailto:tashiit@exat.uz) ).

Автореферат диссертации разослан « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 года.  
(реестр протокола рассылки № \_\_ от « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 года.

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

**К.З.Зияев**  
Ученый секретарь научного  
совета по присуждению ученых  
степеней, PhD, доцент

**А.А.Мухитдинов**  
Председатель научного семинара  
при научном совете по присуждению  
степеней, д.т.н., профессор

## **ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора наука (DSc))**

**Актуальность и значимость темы диссертации.** Учитывая, что перспективы экономического развития в мире в определенной степени зависят от обеспечения транспортных средств топливом, стабильной, безопасной и эффективной работы транспорта, большое значение придается рациональному и эффективному использованию источников энергии в сфере автомобильного транспорта, а также повышению его экологической безопасности. В настоящее время в развитых зарубежных странах ведущее место заняли вопросы, направленные на обеспечение энергоэффективности в транспортной отрасли, повышение их экологической безопасности и определение их экономической эффективности, расширение использования автомобильного транспорта за счет использования в качестве топлива зеленой энергетики и возобновляемых источников энергии. В этой связи особое внимание уделяется сокращению использования добываемых нефтепродуктов и водорода как наиболее экологически чистого и неисчерпаемого вида топлива, как перспективам решения топливно-энергетической проблемы двигателей внутреннего сгорания, являющихся основным силовым агрегатом транспортных средств.

В связи с резким ростом количества автомобилей в мире растет интерес к снижению выбросов токсичных и вредных веществ при сгорании топлива и использованию альтернативных источников энергии, что делает исследования в этой области актуальными. В этом направлении, в том числе во многих странах мира, в промышленных масштабах производится биотопливо — альтернатива бензину, однако его доля в топливном балансе не превышает 0,3%, а приоритетными считаются исследования по снижению транспортных расходов и негативного воздействия транспортных средств на окружающую среду. В то же время во многих зарубежных исследовательских центрах двигателестроителей ведутся научные исследования, направленные на экономию топлива и замену традиционных жидких углеводородных топлив новыми видами, в том числе на использование водородного топлива, среди других актуальных задач.

Использование бензино-водородного топлива на автомобилях в нашей республике расширяет возможности повышения экономической эффективности автотранспорта, и одновременно реализуются комплексные плановые мероприятия, направленные на рациональное использование экологически чистых и высокоэффективных природных возобновляемых источников энергии. Об этом наглядно свидетельствует принятие ряда нормативно-правовых актов, направленных на обеспечение экологической и энергетической безопасности автотранспортных средств, стимулирование научных исследований и научно-методических работ в этой области. В стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы отдельно определены задачи по “обеспечению бесперебойных поставок нефтегазовой продукции отраслям экономики и населению” и “изучению влияния членства Узбекистана во Всемирной торговой организации на металлургическую,

текстильную, пищевую, автомобильную отрасли”<sup>5</sup>. При выполнении этих задач актуальна задача последовательной разработки и обоснования путей повышения топливной экономичности автомобилей, снижения их негативного воздействия на окружающую среду с учетом места транспортных средств в экономике и, в частности, в отраслях народного хозяйства, а также проведение исследований, связанных с разработкой методов оценки этих характеристик.

Диссертационное работе в определенной степени направлено на реализацию и исполнение Постановление Президента Республики Узбекистан № PQ-5063 «О мерах по развитию возобновляемой и водородной энергетики в Республике Узбекистан» 9 апреля 2021 года<sup>6</sup>, Постановлений Президента Республики Узбекистан от от 22 августа 2019 года № ПП-4422 «О оперативных мерах по повышению энергоэффективности отраслей экономики и социальной сферы, внедрению энергосберегающих технологий и развитию возобновляемых источников энергии»<sup>6</sup>, от 9 апреля 2024 года № ПП-5063 «О мерах по развитию возобновляемой и водородной энергетики в Республике Узбекистан»<sup>7</sup>, Постановления Кабинета Министров Республики Узбекистан от 29 марта 2024 года №ПКМ-166 «О мерах по снижению негативного воздействия транспортных средств на атмосферный воздух»<sup>8</sup> и других нормативных документов, касающихся данной сферы.

**Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики.** Данное исследование выполнено в соответствии со III приоритетным направлением развития науки и технологий республики «Энергетика, энергоресурсоэффективность, транспорт, машины и оборудование».

**Степень изученности проблемы.** Вопросами изучения эффективности использования альтернативных видов топлива в двигателях транспортных средств в условиях эксплуатации занимались зарубежные ученые, в том числе Vergote St., Moser F., M. Egert, W. Cartellieri, U. Veit, R. Walter, Vogel Ch., Rottengruber H., Wiebicke U., Woschni G., Zeilinger J.R., K.Rus R., Basshuysen R., Schäfer F., Basshuysen R. (Eds.), Spicher U., Boehman A.L., Le Corre O., Westbrook C.K., Dryer F.L., Westerkamp L., Wiebicke U., Wong J., Wray K.L., Wong J., Wray K.L., Teare J.Z. как У., Диббл Р., Белл С.Р., Аффенштедт Г., Бакхаус Р., Бёман А.Л., Ле Корре О., Боуман К.Т., Бракко Ф.В., Эйхлзедер Х., Клелл М., Фавр А., Фенимор К.П., Хан З., Рейц Р.Д., Хайдер Г., Йорах Р.В., Ро, П.Т.Б., Самс Т.Б., Ришинг П., Рютц Дж., Х. Бухнер, Р. Делл, Г. Лукас, С.О. Баде Шреста, Г.А. Карим, З. Хуанг, Цзиньхуа Ван, Ферран А. Айала, Инге Саанум, Г. Восней, К. Цайлингер, У. Вибиске, Х. Роттенгрубер, Г. Зитцлер, К. Уокер, Б. Эдер, Д. Каласс, М. Ларсон, С.А. Салман, Э. Ризен, Э. Греггеби, А.

<sup>5</sup> Указ Президента Республики Узбекистан №УП-60 от 28 января 2022 года, “О стратегии развития нового узбекистана на 2022 — 2026 годы”.

<sup>6</sup> Постановление Президента Республики Узбекистан № PQ-5063 «О мерах по развитию возобновляемой и водородной энергетики в Республике Узбекистан» 9 апреля 2021 года.

<sup>7</sup> <https://lex.uz/docs/-4486125>.

<sup>8</sup> <https://lex.uz/docs/-5362032>.

<sup>9</sup> <https://lex.uz/pdfs/6858809>.

Блимберг, А.И. Мищенко, В.А. Вагнер, В.А. Звонов, Ю.В. Галишев, А.И. Гайворонский, В.И. Ерохов, И.В. Смоленский, Г.Б. Талда, Р.Ш. Мисбахов, Л.Н. Бортников, Д.А. Павлов, В.В. Румянцев, В.З. Гибадуллин, Г.Н. Злотин, Н.А. Иващенко, А.А. Капустин, Н.Н. Патрахальцев, А.С. Соколик, В.М. Фомин, А.С. Хачиян, Н.А. Хрипач, А.П. Шайкин, А.А. Голосов, А.А. Скрипник, В.А. Федоров, З.Р. Кавтарадзе, А.В. Шибанов, А.А. Зеленов, С.С. Сергеев, И.И. Тимченко, Д. Рамадан, В. Баадер, В.Л. Чумаков, Н.В. Красношеков, А.Д. Передерия, Т.И. Андрюхин, А.Н. Захарченко, Н.Н. Семенова, Я.Б. Зельдович, А.С. Компанеев, А.С. Радченко, Р.В. Мокрушин, В.В. Тюльпа, В.Ф. Кутенев, В.А. Звонов, Г.С. Корнилов, М.Л. Варшавский, Р.В. Малое, Ю.В. Галишев, Ф. Мозер, В. Богатырев, В.В. Гончаров, В.П. Бармин, Р.В. Малое, В.И. Крутов, А.Г. Рыбальченко, В.В. Румянцев, Е.В. Шатров, Л.К. Петров, С.А. Глаговский, А.А. Ватульян, С.М. Фролов, В.Я. Басевич, А.А. Беляев, А.Н. Готтс, Р. Крейссенбруннер, А.Р. Кульчицкий, Л.Е. Магидович и другие провели исследования проблем использования водорода в качестве топлива.

Среди ученых нашей страны А.А. Муталибов, С.М. Кадыров, Б.И. Базаров, Ш.Ю. Имомов, С.А. Калаулов, А.Х. Васидов, Р.Н. Ахматжанов, О.Г. Эргашев и Ж.Х. Джалилов проводили исследования направленные на повышение эксплуатационных характеристик автомобилей с использованием альтернативных видов топлива и добавки водорода в топливно-воздушную смесь в двигателях внутреннего сгорания.

Вместе с тем анализ работ наших ученых, указанных выше, показал, что вопросы использования бензино-водородного топлива в силовых установках автотранспортных средств недостаточно изучены, равно как и методы снижения выбросов углерода в отработавших газах при использовании бензино-водородного топлива для двигателей внутреннего сгорания.

**Связь темы диссертационного исследования с планами научных работ высшего учебного заведения, где выполнена диссертация.** Диссертационная работа выполнена в соответствии с хозяйственным договором № 01-15 от 10.06.2015 г. «Разработка системы питания на водородном топливе» Ташкентским городским комитетом по охране природы между ТАДИ и хозяйственным договором №1 на создание (передачу) научно-технической продукции от 07.06.2021 г. «Участие и анализ сравнительных испытаний автомобилей GM-UZ NEXIA 1,6 л двигателя на бензине и бензино-воздушных смесях с добавкой водорода проведенных полигонных испытания между заказчиком и «UZ TEST» ДУК» Ташкентском государственном техническом университете между ЧП «INOYAT FAYZ TEKS».

**Целью исследования** является минимизации углеродной эмиссии в отработавших газах двигателей легковых автомобилей применением бензино-водородного топлива.

**Задачи исследования:**

теоретически обосновать возможность существенного снижения выбросов углерода в двигателях внутреннего сгорания за счет увеличения энергии активации процесса сгорания;

сформулировать основы теории объемного горения топлива в термодинамическом цикле Отто и оценить значимость участия в нем ионов водорода и кислорода;

теоретическое обоснование состава бинарной топливной смеси бензин-водород, обеспечивающей эффективное сгорание в широком диапазоне скоростных и нагрузочных режимов работы на примере двигателя F16D3 легкового автомобиля GM Chevrolet Cruze/Nexia/Lacetti;

обоснование, проектирование, изготовление и испытание экспериментального образца бортового электролизера (генератора водорода) для оптимизации режима электролиза, состава раствора и соответствия теоретическим положениям, а также согласования работы системы подачи водорода (топлива) со штатной бортовой ЭБВ на всех режимах работы двигателя F16D3;

достижение максимального индикаторного давления и минимального выброса углерода в отработавших газах в соответствии с критериями за счет оптимизации параметров регулировки подачи топлива и угла зажигания на стендах испытаний двигателей;

подтверждение эффективности предлагаемых технических решений путем проведения дорожных испытаний легкового автомобиля GM Cruze/Nexia/Lacetti в городском цикле ЕВРО;

передача результатов диссертационного научного исследования Минстремства Транспорта, Министерство экологии, охраны окружающей среды и изменения климата Республики Узбекистан а также заинтересованным организациям для практического использования на двигателестроительных заводах.

**В качестве объекта исследования** был выбран двигатель F16D3 легкового автомобиля.

**Предметом исследования** являются выбросы углерода в отработавших газах двигателей легковых автомобилей, работающих на бензино-водородном топливе.

**Методы исследования.** В процессе исследований используются теоретические методы исследования, регрессионный анализ, методы интерполяции, анализ и синтез технических систем, теория и численные расчеты двигателей внутреннего сгорания, экспериментальные исследования на испытательных стендах, методы определения продолжительности фазы сгорания режимов работы двигателей с использованием стандартных и авторских методик экспериментального исследования топливной экономичности и количества выбрасываемых токсичных веществ автотранспортными средствами в городских циклах.

**Научная новизна исследования заключается в следующем:**

усовершенствованы методы оценки эффективности рабочего цикла бензиново-водородного двигателя с циклом Отто с использованием метода интерполяции и теоретического обоснования возможности снижения выбросов углерода в отработавших газах за счет увеличения энергии активации процесса сгорания;

с использованием графоаналитического метода усовершенствованы теоретические основы расчета состава топливной смеси бензин-водород, обеспечивающей эффективное сгорание топлива в двигателе легкового автомобиля в широком диапазоне скоростей и режимов нагрузки с учетом количества водорода, подаваемого в топливовоздушную смесь двигателя;

с использованием экспериментальных методов исследования с учетом режимов работы двигателя разработан метод определения продолжительности фазы сгорания двигателя;

с использованием метода корреляционно-регрессионного анализа усовершенствован метод оценки уровня эффективного использования теплоты сгорания бензиново-водородного топлива в основной фазе процесса сгорания;

при работе двигателя с искровым зажиганием на бензиново-водородном топливе экспериментальными методами доказана эффективность рабочего процесса и снижение выбросов углерода в отработавших газах;

при использовании в двигателе бензиново-водородного топлива экспериментальными методами разработаны критерии оценки продолжительности фаз сгорания с учетом количества водорода в горючей смеси.

**Практические результаты исследования** заключается в следующем:

обоснован способ добавки водорода в бензиново-воздушные смеси в двигателях внутреннего сгорания, повышающий эффективность использования теплоты и снижающий токсичность отработавших газов;

разработана методика проведения экспериментальных (полигонных, эксплуатационных) исследований особенностей регулирования состава смеси двигателя, работающего на бензиново-водородном топливе, и системы топливоподачи, реализующей эти особенности;

разработан способ минимизации выбросов углерода и получения водорода требуемого содержания за счет повышения экологической безопасности и топливной экономичности путем использования двухтопливного (бензиново-водородного) топлива в двигателях внутреннего сгорания;

усовершенствована система генератора водорода для автоматического управления различными режимами работы двигателя внутреннего сгорания.

**Достоверность результатов исследования.** Исследования проводились с использованием современных методов и измерительных приборов. Используя основные технические и математические законы планирования экспериментальных испытаний, разработанные теоретические положения подтверждаются результатами экспериментальных исследований.

### **Научная и практическая значимость результатов исследования:**

Научная значимость результатов исследований объясняется тем, что теоретический анализ электрохимических процессов, протекающих при электролизе воды, позволил выбрать рациональный состав электролита, режим получения ионов водорода и кислорода (газ Брауна или гремучий газ), сформированы основы теории объемного сгорания топлива в термодинамическом цикле Отто, показана важность участия в ней ионов водорода и кислорода, теоретически обоснована возможность снижения выбросов углерода в двигателях, работающих по циклу Отто, за счет повышения энергии активации процесса сгорания, получены аналитические соотношения, позволяющие оценить степень активации топливной смеси бензин-водород, разработана и внедрена в практику усовершенствованная методика расчета состава топливной смеси бензин-водород, обеспечивающая эффективное сгорание двигателя легкового автомобиля, работающего на бензин-водородном топливе в широком диапазоне скоростных и нагрузочных режимов, а также разработана методика выбора необходимого содержания водорода.

Практическая значимость результатов исследований объясняется тем, что разработаны практические рекомендации по добавлению водорода в бензино-воздушные смеси в двигателях внутреннего сгорания, повышению эффективности использования тепла и снижению токсичности отработавших газов, особенности регулирования состава смеси двигателя, работающего на бензино-водородном топливе, и системы топливоподачи, реализующей эти особенности, методика и программа проведения экспериментальных (полигонных, эксплуатационных) исследований бензино-водородного топлива, применение бензино-водородного топлива для снижения токсичности отработавших газов в двигателях внутреннего сгорания, минимизации выбросов углерода и получения водорода требуемого содержания за счет повышения экологической безопасности и топливной экономичности, совершенствование систем генераторов водорода для автоматического управления различными режимами работы двигателя внутреннего сгорания, повышение их конкурентоспособности.

**Внедрение результатов исследований.** На основании результатов научных исследований по повышению топливной экономичности и минимизации выбросов углерода с отработавшими газами легковых автомобилей, оснащенных двигателями внутреннего сгорания, путем перевода их на топливную смесь бензина и водорода:

внедрен метод оценки эффективности рабочего цикла двигателя с учетом концентрации горючей смеси (Справка Министерства экологии, охраны окружающей среды и изменения климата Республики Узбекистан № 03-03/1-03/3-3999 от «24» апреля 2025 года). В результате достигнута топливная экономичность различных транспортных средств, работающих на бензиново-водородном топливе, в частности, легковых автомобилей, оснащенных двигателем внутреннего сгорания с искровым зажиганием, что

позволяет экономить до 11% энергии, что приводит к снижению экологических проблем;

совершенствование расчетных, аналитических и экспериментальных методов снижения выбросов углерода в отработавших газах, эффективности работы двигателей на бензино-водородном топливе, внесенное Министерством экологии, охраны окружающей среды и изменения климата Республики Узбекистан (приказ Министерства «24» от 03-03/1-03/3-3999, 2025 г.). В результате при проведении тестового заезда с добавлением водорода в бензино-воздушную смесь была достигнута экономия топлива при скорости 120 км/ч - 11,17%, при скорости 90 км/ч - 11,06%, а в городском цикле - 6,29%;

усовершенствована теоретическая основа расчета состава топливной смеси бензин-водород, обеспечивающей эффективное сгорание двигателя легкового автомобиля в широком диапазоне скоростных и нагрузочных режимов с учетом количества водорода, подаваемого в топливовоздушную смесь двигателя, с использованием графоаналитического метода, внедренного Министерством экологии, охраны окружающей среды и изменения климата Республики Узбекистан (справочник Министерства № 03-03/1-03/3-3999 от «24» - апреля 2025 г.), что на основе анализа результатов полученных внешних скоростных характеристик двигателя, работающего в различных режимах, позволило провести экологическую оценку бензина и бензин-водородного топлива, снизить токсичные и вредные выбросы, CO на 30-50%, CH 6-20%, NOx 5-12% и парниковых газов диоксида углерода CO<sub>2</sub> на 15-30%;

критерии оценки продолжительности фаз сгорания двигателя при работе на бензино-водородном топливе экспериментальными методами, утвержденные Министерством экологии, охраны окружающей среды и изменения климата Республики Узбекистан (приказ Министерства «24» - апрель 2025 г. № 03-03/1-03/3-3999). Применение бензино-водородного топлива экономически оправдано, его себестоимость составляет до 2610 сумов за литр бензина, а мощность двигателя увеличивается на 5–10 процентов в различных режимах работы. В результате годовая энергетическая и экологическая эффективность эксплуатации одного легкового автомобиля на бензиново-водородном топливе составляет 2,9 млн. Достигнуто, что экологический ущерб, который необходимо устранить за эти годы, составляет 98,7 тыс. сумов.

Разработанный способ и устройство для использования водорода в качестве добавки к бензину переданы в Министерство экологии, охраны окружающей среды и изменения климата и Министерство транспорта Республики Узбекистан для использования в проектных работах.

Результаты данной работы внедрены в учебный процесс по подготовке бакалавров и магистров Ташкентского государственного технического университета имени Ислама Каримова.

**Апробация результатов исследования.** Результаты исследования диссертации обсуждались на 6 международных и 5 республиканских научно-практических конференциях.

**Публикация результатов исследования.** Всего по теме и материалам диссертации опубликовано 30 научных работ. Из них 18 научных статей опубликованы в научных изданиях, рекомендованных к публикации Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертаций доктора технических наук (DSc), в том числе 8-в республиканских и 11-в зарубежных журналах. Получено 4 свидетельства об официальной регистрации программы, созданной для ЭВМ.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа изложена на 174 страницах машинописного текста, иллюстрируется 77 рисунками, 27 таблицами и состоит из введения, 6 глав, выводов, списка литературы из 172 наименований и приложений.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

В вводной части диссертации обоснованы актуальность, цель и задачи научно-исследовательской работы, освещены объект и предметы исследования, показано соответствие с приоритетными направлениями развития науки и техники в нашей стране, приводятся научная новизна и практическая значимость исследования, внедрение результатов исследования в практику, а также сведения о публикациях и составе диссертационной работы.

В последнее время многие зарубежные исследовательские центры компаний-производителей двигателей проводят исследования, направленные на экономию топлива, проблемы загрязнения окружающей среды, замену традиционных жидких углеводородных топлив новыми видами топлива.

В первой главе диссертации озаглавленной **«Состояние современной проблемы и формирование задач научных исследований»**. В данной главе анализируются результаты научных исследований и экспериментальных испытаний, проведенных многими учеными по вопросу повышения показателей производительности легкового автомобиля добавка водорода в бензино-воздушную смесь.

Выполненный анализ проблем связанных с исчерпанием запасов ископаемых углеводородов и с изменением климата планеты указывает на необходимость принятия неотложных мер по обнулению углеродной эмиссии ОГ во всех отраслях энергетики, в том числе и на автотранспорте.

Основу мирового пассажирского транспорта составляют легковые автомобили, оснащенные преимущественно быстроходными моторами Отто, находящиеся в частном владении. Единовременный запрет на углеродную эмиссию ОГ и конверсия двигателей на **чистое топливо – водород**, чего добиваются сторонники **зеленого** движения, может вызвать социальный взрыв мирового масштаба, так это мероприятие сделает непригодными сотни миллионов эксплуатируемых автомобилей. Водород, являясь экологически чистым топливом, обладает достаточно широким спектром достоинств и недостатков, существенно влияющих на технологичность и эффективность его

использования в сфере мобильной энергетики, особенно в двигателях внутреннего сгорания.

Европейская экономическая комиссия ООН совместно с ведущими компаниями передовых стран Европы разработала программу «Авто-Ойл» для всех типов автомобилей. На основе этой программы, исходя из необходимости защиты окружающей среды, формирование стандартов отходящих газов должно осуществляться с наименьшими затратами для общества, с учетом научных достижений и технологических возможностей производства. Данное направление планировалось реализовать как составную часть программы ООН «Чистый воздух для Европы» для общества в целом.

Таким образом, безуглеродная эмиссия ОГ с одной стороны благотворно влияет на снижение «парникового эффекта», а с другой – лишает биосферу питания, и как следствие, сокращает количество кислорода в атмосфере.

Достаточно ограничиться примитивными расчетами экономической реализуемости проекта, чтобы прийти к разумному выводу, что смена источников энергии и переход к альтернативным топливным ресурсам будет происходить не революционно, а скорее всего – эволюционно. При этом человечество вряд ли полностью откажется от ископаемых углеводородов, поскольку в этом нет рационального зерна, так как они являются отходами жизнедеятельности всех живых организмов на земле.

Следует заметить, что отмеченное (в связи с потеплением климата) появление гидрата метана в мировом океане и в пресных водоемах (таких как озеро Байкал), экологи относят к весьма опасному явлению, усугубляющему парниковый эффект в атмосфере планеты Земля.

В второй главе диссертации озаглавленной **«Теоретические основы минимизации углеродной эмиссии ОГ моторов Отто конверсией их на бинарное (бензино-водородного топлива) топливо»**. В данной главе приведены теоретический анализ электрохимических процессов, происходящих при электролизе воды позволил выбрать рациональный состав электролита и режим получения гремучего газа, сформулированы основы теории объемного горения топлива в термодинамическом цикле Отто и показана значимость участия в нем ионов водорода и кислорода, теоретически обоснована возможность существенного снижения эмиссии углерода в двигателях с циклом Отто посредством повышения энергии активации процесса горения, выведены аналитические зависимости, позволяющие оценить степень активации смеси бензино-водородного топлива и теоретически обоснован состав бинарной смеси бензино-водородного топлива обеспечивающего эффективное горение в широком диапазоне скоростных и нагрузочных режимов работы на примере двигателя F16D3 легкового автомобиля GM Chevrolet Cruze/Aveo/Lacetti.

При рассмотрении механизма электролиза нельзя упускать из виду, что, кроме ионов электролита, во всяком водном растворе, имеются еще ионы  $H^+$  и  $OH^-$  из воды. Эти ионы перемещаются в электрическом поле так же, как и ионы электролита: водородные ионы - к катоду, а гидроксильные - к аноду.

Законы электролиза, устанавливающие количественные взаимосвязи параметров этого явления установлены в 30-х годах XIX в Майклом Фарадеем. Первый закон Фарадея гласит: количество вещества  $M$ , выделившегося при электролизе, прямо пропорционально электрическому заряду  $q$ , прошедшему через электролит

$$M = kq = kIt, \quad (1)$$

где  $k$  - электрохимический эквивалент, численно равный массе вещества, выделившегося на электроде при прохождении через электролит единицы электрического заряда;  $I$  - сила тока, А;  $t$  - единица времени, с.

Согласно второму закону Фарадея: электрохимические эквиваленты элементов прямо пропорциональны их химическим эквивалентам, т. е.

$$k = C \frac{A}{Z}, \quad (2)$$

где отношение атомного веса  $A$  элемента к его валентности  $Z$  – химический эквивалент, выражаемый в грамм-эквивалентах (сокращенно – г-экв). Величина  $F = 1/C$  называется числом Фарадея, равным электрическому заряду, проходящему через электролит, при котором на электроде выделяется 1г-экв любого вещества:  $F = 96494 \text{ Кл/(г-экв)} \approx 95000 \text{ Кл/(г-экв)}$ .

Обобщением обоих законов Фарадея является зависимость

$$M = \frac{AIt}{FZ}, \text{ или } M = \frac{Aq}{FZ}, \quad (3)$$

из которой следует, что величина заряда  $q$  любого иона равна

$$q = \pm \frac{ZF}{N_A}, \quad (4)$$

где  $Z$  – валентность иона;  $N_A$  - число Авогадро,  $N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$ . Заряд одновалентного иона ( $Z = 1$ ) равен по абсолютной величине заряду электрона:

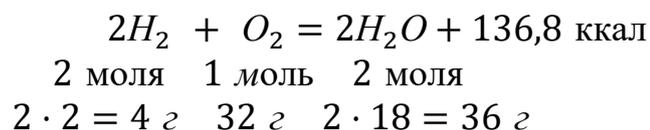
$$q_1 = e = 1,602 \cdot 10^{-10} \text{ Кл.}$$

Установлено, что любой электрический заряд является кратным от наименьшего заряда  $e$ , который считается элементарным.

Острые проблемы глобального изменения климата планеты вызвали необходимость незамедлительного принятия кардинальных мер со стороны всех стран по кардинальному снижению выбросов в атмосферу оксидов углерода. наша трактовка проблемы отличается от популистских лозунгов лидеров мирового **зеленого движения** тем, что мы учитываем необходимость круговорота углерода в природе, так как без этого погибнет флора, а значит и фауна. поэтому, прежде чем бросаться из одной крайности в другую крайность следует вспомнить печальный опыт Китая борьбы с воробьями!

Водород самый легкий из всех газов, он почти в 14,5 раз легче воздуха. Литр водорода при нормальных условиях весит только 0,09 г. В воде водород малорастворим, но растворяется в значительном количестве в некоторых металлах, например в палладии, платине и др.

Если к струе водорода, выходящей из какого-нибудь узкого отверстия, поднести зажженную спичку, то водород загорается и горит несветящимся пламенем. Продуктом горения является вода:



Таким образом, сжигая 4 г водорода и 32 г кислорода, получаем 36 г водяного пара, и при этом выделяется 136,8 ккал теплоты.

При поджигании смеси двух объемов водорода с одним объемом кислорода соединение газов происходит почти мгновенно во всей массе смеси и сопровождается сильным взрывом. Поэтому такая смесь называется **гремучим газом** (рис. 1).

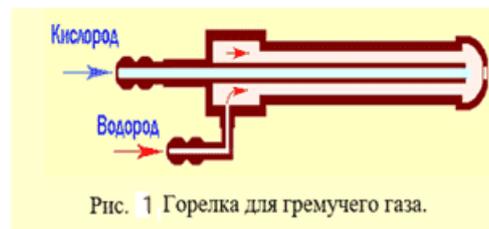
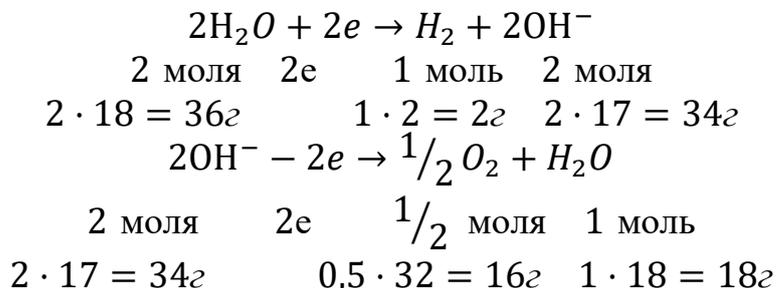


Рис. 1 Горелка для гремучего газа.

Многие исследователи необоснованно считают, что водород обладает более высокой **нижней теплотой сгорания** по сравнению с углеводородами, полагаясь на сравнение по массовым показателям (ккал/кг). При сравнении выделяемой теплоты этими топливами по объемным единицам измерения вытекает противоположный вывод – водород менее эффективен и этому имеется достаточно простое объяснение. Для этого придется обратиться к конкретной конструкции двигателя с циклом Отто, например, к продукции Узбекского Автопрома - мотору F16D3 легкового автомобиля GM Chevrolet Cruze/Aveo/Lacetti.

Как было ранее показано, основными электрохимическими реакциями являются:



при этом в обеих реакциях участвуют два элементарных электрических заряда (в первой – затрачивается, а во второй - выделяется)

$$2e = 2 \cdot 1,602 \cdot 10^{-10} = 3,204 \cdot 10^{-10} \text{ Кл.}$$

Согласно уравнению (2), электрохимические эквиваленты элементов прямо пропорциональны их химическим эквивалентам, **поэтому** для водорода

$$k = \frac{1,008}{1,96500} = 1,045 \cdot 10^{-5} \text{ г-экв, а для кислорода } k = \frac{16}{2,96500} = 8,29 \cdot 10^{-5} \text{ г-экв.}$$

Масса выделившегося в результате электрохимической реакции водорода, согласно уравнению (3)

$$M = kIt = 1,045 \cdot 10^{-5} \cdot It \text{ (г-экв)} \cdot A \cdot c$$

Для того чтобы получить это количество водорода в единицах объема разделим ее на плотность  $\rho = 0,071 \text{ кг/м}^3 = 0,071 \text{ г/л} = 7,1 \cdot 10^{-5} \text{ г/мл}$ . Тогда

$$V_{H_2} = \frac{1,045 \cdot 10^{-5}}{7,1 \cdot 10^{-5}} \cdot It = 0,15 \cdot It \text{ мл} \cdot A \cdot c$$

Масса выделившегося кислорода

$$M = kIt = 8,29 \cdot 10^{-5} \cdot It \text{ (г-экв)} \cdot \text{А} \cdot \text{с}$$

Количество кислорода в единицах объема, будет равно

$$V_{O_2} = \frac{k}{\rho} It = \frac{8,29 \cdot 10^{-5}}{1,43} \cdot It = 5,8 \cdot 10^{-5} \cdot It \text{ л} \cdot \text{А} \cdot \text{с} \text{ или } V_{O_2} = 0,058 \text{ мл} \cdot \text{А} \cdot \text{с},$$

Так как плотность кислорода составляет 1,43 г/л. полагая, что для нормальной работы аккумуляторной батареи допустимо потребление тока ( $I = 10\text{А}$ ), получим секундную объемную производительность электролизера по кислороду  $\eta_{O_2} = 0,58 \text{ мл/с}$ . на рис. 2 показаны характеристики объемной производительности электролизера в зависимости от силы тока, рассчитанные для плотности тока  $5 \text{ А/дм}^2$ .

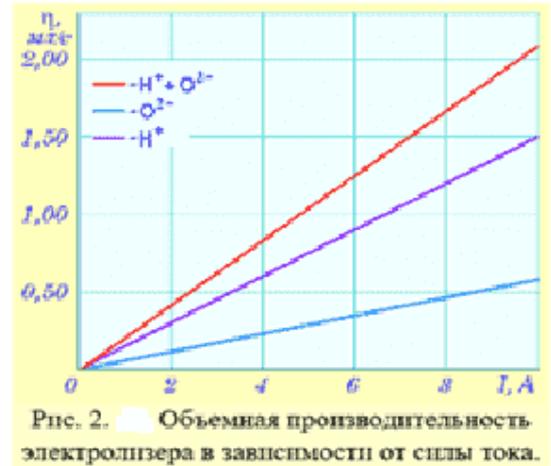


Рис. 2. Объемная производительность электролизера в зависимости от силы тока.

Предполагается, что **гремучий газ** поступает по трубке диаметром 6 мм во впускной коллектор, где он перемешивается с всасываемым воздухом, а перед самым закрытием впускного клапана, - с впрыскиваемой дозой бензина. следовательно, в цилиндр двигателя непрерывно на протяжении впускного такта поступает смесь сложного состава, зависящего от объемной производительности электролизера, рабочего объема цилиндра, продолжительности впуска и режима работы мотора.

Согласно схеме, показанной на рис. 3 управление процессом дозирования и подачи топлива бинарной системой практически не отличается от стандартной. здесь основной дозой топлива является бензин, количество которого увязано с положением дроссельной заслонки, клапана холостого хода и сигналом датчика давления. Система уравнивается элементом отрицательной обратной связи, функцию которого выполняет лямбда-зонд, сигнализирующий о составе отработавших газов и корректирующий положение дроссельной заслонки. количество подаваемого **гремучего газа**



Рис. 3. Схема мотора Отто с бинарной (бензино-водородной) топливной системой.

определяется только продолжительностью впуска, т. е. зависит от частоты вращения коленчатого вала и не зависит от нагрузки (крутящего момента).

В современных моторах Отто продолжительность открытия впускных клапанов составляет порядок  $285^0 \text{ ПКВ}$ , что в интервале частот вращения  $800 \dots 5800 \text{ мин}^{-1}$  составляет соответственно

$$t_{\text{ВП}} = \frac{60\phi_{\text{ВП}}}{2\pi n} = \frac{285 \cdot 60}{360 \cdot 800} = 0,0594 \text{ с,}$$

$$t_{\text{ВП}} = \frac{60\phi_{\text{ВП}}}{2\pi n} = \frac{285 \cdot 60}{360 \cdot 5800} = 0,0082 \text{ с.}$$

Действительные объемы водорода и кислорода, засасываемых за период впуска на режиме минимально устойчивых оборотов холостого хода, при силе тока электролиза  $I = 10 \text{ А}$  будут соответственно равны:

при  $n = 800 \text{ мин}^{-1}$

$$V_{H_2} = \frac{M_{H_2}}{\rho_{H_2}} \cdot I t_{\text{ВП}} = 0,15 \cdot 10 \cdot 0,0594 = 0,089 \text{ мл,}$$

$$V_{O_2} = \frac{M_{O_2}}{\rho_{O_2}} \cdot I t_{\text{ВП}} = 0,058 \cdot 10 \cdot 0,0594 = 0,0345 \text{ мл}$$

ПРИ  $n = 5800 \text{ мин}^{-1}$

$$V_{H_2} = \frac{M_{H_2}}{\rho_{H_2}} \cdot I t_{\text{ВП}} = 0,15 \cdot 10 \cdot 0,0082 = 0,0123 \text{ мл,}$$

$$V_{O_2} = \frac{M_{O_2}}{\rho_{O_2}} \cdot I t_{\text{ВП}} = 0,058 \cdot 10 \cdot 0,0082 = 0,0048 \text{ мл}$$

Объемная доля гремучего газа в объеме смеси с атмосферным воздухом составит: при  $n = 800 \text{ мин}^{-1}$

$$d_V = \frac{V_{H_2} + V_{O_2}}{V_h} = \frac{0,089 + 0,0345}{400} = 0,0003.$$

ПРИ  $n = 5800 \text{ мин}^{-1}$

$$d_V = \frac{V_{H_2} + V_{O_2}}{V_h} = \frac{0,0123 + 0,0048}{400} = 0,00004.$$

Расчеты показывают, количественно долю гремучего газа, вводимого в термодинамический цикл, можно было бы признать незначительной с точки зрения степени дополнительного увеличения тепловой энергии. однако, прежде чем делать какие-либо выводы необходимо обратиться к теории горения углеводородов.

В третьей главе диссертации озаглавленной «**Экспериментальная установка. Планирование и методика проведения экспериментов**», изложены цели, методика, оборудование и контрольно-измерительные приборы используемый диссертационной работы, а также методика экспериментальных испытаний на лабораторном стенде.

С целью повышения точности измерения параметров, измеряемых при экспериментальных испытаниях, и повышения производительности труда при испытаниях двигателей в научно-исследовательской лаборатории «Экология и ДВС» ТИПСЭАД на базе двигателя автомобиля «Lacetti» создан автоматизированный измерительный комплекс, обеспечивающий цифровую индикацию измеряемых параметров.

При научных исследованиях двигателя автомобиля Lacetti использовался электрический балансировочный станок типа RAPIDO мощностью 80 кВт (Германия).

Общий вид стенда с использованием автоматизированной измерительной системы для испытания двигателей автомобилей Lacetti представлен на рисунках 4 - 10.

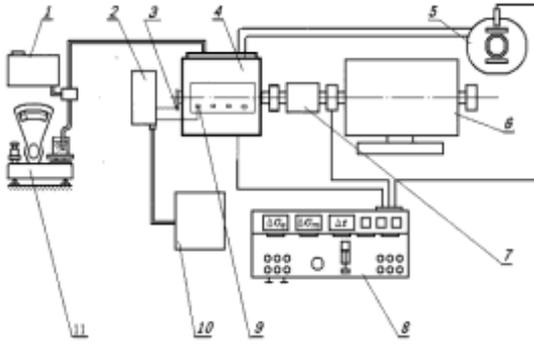


Рисунок 4. Принципиальная схема стенда экспериментальных исследований.

1–топливный бак; 2 – усилитель сигнала; 3–диск с вырезом, показывающий угол поворота коленчатого вала; 4–двигатель; 5– счетчик расхода воздуха РГ-100; 6- балансировочный электротормоз; 7– муфта; 8– пульт управления измерительным комплексом; 9–свеча зажигания; 10– компьютер; 11– автоматизированные электронные весы измерения расхода топлива.

Полигонные исследования проводились на по договору ЧП «INOYAT FAYZ TEKS» и ГУП «UzTest» Пскентском полигоне Туринского политехнического университета, с использованием испытательного оборудования и приборов ГУП «UzTest» (рис.8,9).

Определены технологические характеристики электролизера водорода, проанализирована работа двигателей внутреннего сгорания при бензино-водородного топливе, получены показатели эффективности работы легкового автомобиля при в бензине и бензино-водородного топливо. (рис. 6).

Принцип работы генератора водорода. С помощью электролазера (рис. 4) вода расщепляется на два составляющих газа: Н-водород и О-кислород. Принципиальная схема генератора водорода представлена на рис. 8.



Рисунок 6. Исследование водородного электролазера в лаборатории

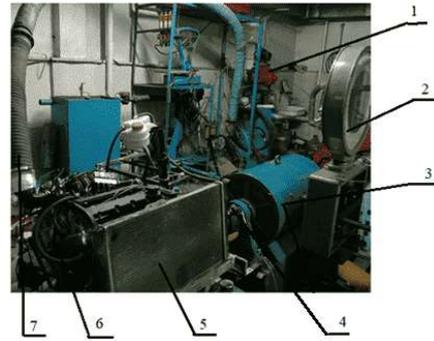


Рисунок 5. Обзор испытательного тормозного стенда двигателя «Rapido» (Германия)

1-счетчик расхода воздуха РГ-100; 2– тормозной механизм; 3 – балансировочный станок RAPIDO; 4– фотодатчик измерения количества оборотов коленчатого вала; 5– радиатор; 6–двигатель; 7-впускной трубопровод.



7. Панель управления испытательного исследовательского тормозного устройства «Rapido» (Германия).

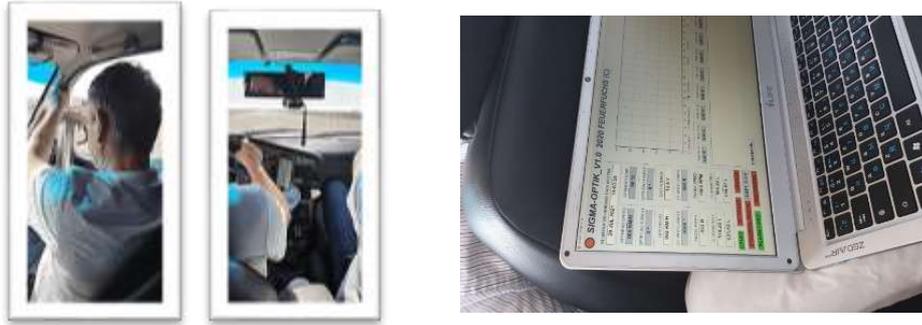


Рисунок 8. Полигонные научно-исследовательские испытания.



Рисунок 9. Измерение количества отработавших газов

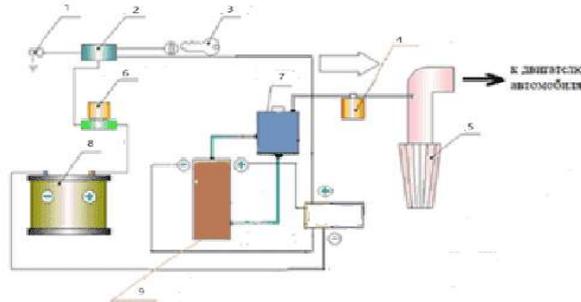


Рисунок 10. Принципиальная схема генератора водорода.  
 2- масса; 2-реле; 3- ключ; 4- уловитель влаги; 5- воздушный фильтр; 6- предохранитель; 7-резервуар; 8- аккумулятор; 9- электролизер.

Исследование рабочего процесса двигателя осуществлялось путем индицирования на осциллографе с свеча-пьезоэлектрический датчиком разработано МАДИ (рис.11) передача данных на компьютер. Погрешность замера не превышала 2%.



Рис.11. Свеча-пьезоэлектрический датчик давления.

В четвертой главе диссертации озаглавленном «**Результаты экспериментальных исследований и их анализ**», представлены оценки показателей автомобиля (двигателя) позволяет с достаточной точностью аналитически определить основные параметры, показатели, характеристики и определить уровень совершенства работы автомобиля (реального двигателя) при работе на различных видах топлива (базовый, смешанный). Полученные, расчетные показатели и результаты полигонных, стендовых испытания характеристик автомобиля (двигателя) сравниваются с экспериментальными данными.

Для сравнения показателей двигателя бензиновым топливом и бензино-водородного топливом внешняя скоростная характеристики снимались на одинаковых режимах.

Результаты математического расчета внешних скоростных характеристик двигателя на бензиновом топливом и бензино-водородного топливом приведены на рисунке 12. По полученным и результаты математического расчета внешних скоростных характеристик двигателя показывает, что добавка водорода бензино-воздушные смеси улучшает энергетические и экономические показатели двигателя. Из рисунка 12 видно, что при бензино-водородного топливом показатели двигателя несколько улучшаются. Расход топлива уменьшается, наполнение цилиндров улучшается. Из этого можно объяснить, улучшение процессов наполнения, топливоподачи и смесеобразования. Высокой скорости сгорания водорода и его диффузионные свойства перемешаны с входящим зарядом воздухом становится выше, гомогенизация улучшается и поэтому происходит полнота сгорания топлива.

По полученным графиков можно обсудить, что с ростом частоты вращения коленчатого вала двигателя с добавкой водорода бензино-воздушной смеси коэффициент наполнения  $\eta_v$  до 3% увеличивается.

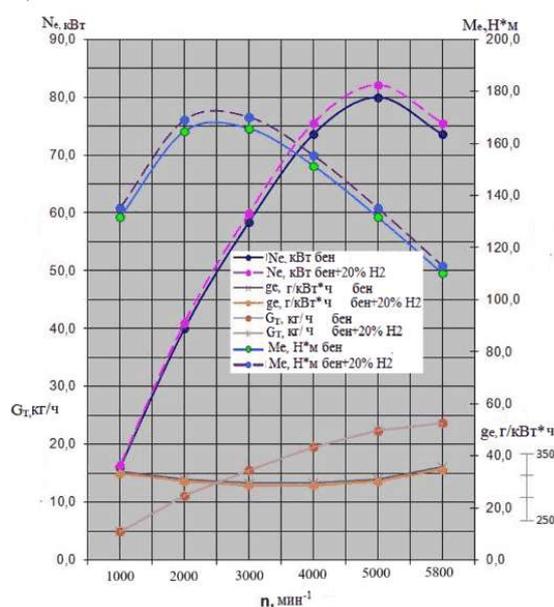


Рис. 12. Результаты математического расчета внешних скоростных характеристик двигателя на бензине и добавке водорода в бензино-воздушную смесь

На рисунке 12 оценки влияния добавка 20 % водорода в бензино-водородном топливе на рабочий процесс и энергетические показатели двигателя представлена экспериментальная индикаторная диаграмма изменения давления внутри цилиндра при оборотов коленчатого вала  $n = 1000 \text{ мин}^{-1}$  и угол опережения зажигания двигателя  $10^\circ$ . Рабочий процесс двигателя осуществлялся путем передачи данных компьютер через осциллограф принимающий сигнал пьезоэлектрический датчика. На рисунке 13 с учетом экспериментальных данных построена индикаторная диаграмма изменения давления внутри цилиндра при  $n = 3800 \text{ мин}^{-1}$  и угле опережения зажигания двигателя  $10^\circ$ .

Полученные экспериментальные результаты показывают, что эффективность процесса сгорания двигателя существенно повышается при бензино-водородного топливе. При добавлении водорода в бензино-воздушную смесь процесс сгорания происходит в меньшем объеме камеры сгорания за меньшее время, что увеличивает максимальное давление в цилиндре на 5-7% и тем самым улучшает мощностные характеристики двигателя.

Улучшение энергетических показателей двигателя при добавлении водорода в бензино-воздушную смесь показывает уникальность процесса сгорания. При бензино-водородного топливе среднее показательное давление в цилиндре двигателя увеличилось на 9%. При бензино-водородного топливе количество впрыскиваемого в цилиндр топлива уменьшалось до 15%. Эффект увеличения максимального и среднего индикаторного давления при бензино-водородного топливе объясняется качественным улучшением процесса сгорания. Это происходит за счет активации скорости горения водорода, значительного увеличения интенсивности химических реакций на фронте пламени, что позволяет осуществлять процесс горения с большой термодинамической эффективностью и, как следствие, с высоким КПД.

Анализ результатов при добавке водорода в бензино-воздушную смесь позволяет понять особенности процесса сгорания, что необходимо для создания новых мало загрязняющих и высокоэффективных бензиновых двигателей, работающих на высококачественном регулируемом добавка водороде.

Сравнение экспериментальных внешне скоростных характеристик двигателей внутреннего сгорания легковых автомобилей F16D3, работающих на бензине в качестве основного топлива и бензино-водородного топлива, показывает, что концентрация содержания водорода для исследования соответствует достоверной энергетической и экологической оценке.

На рисунке 15 сопоставлены экспериментальные внешние скоростные характеристики двигателей внутреннего сгорания легковых автомобилей F16D3 с бензиновым и бензино-водородного топливе, полученные в результате испытаний на испытательном стенде Rapido (Германия).

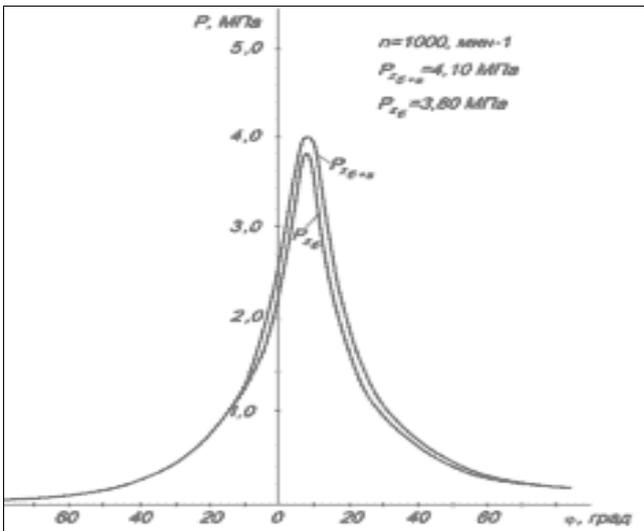


Рис. 13. Индикаторная диаграмма двигателя при режим работы  $n=1000$  мин<sup>-1</sup> с бензином и бензино-водородного топливе

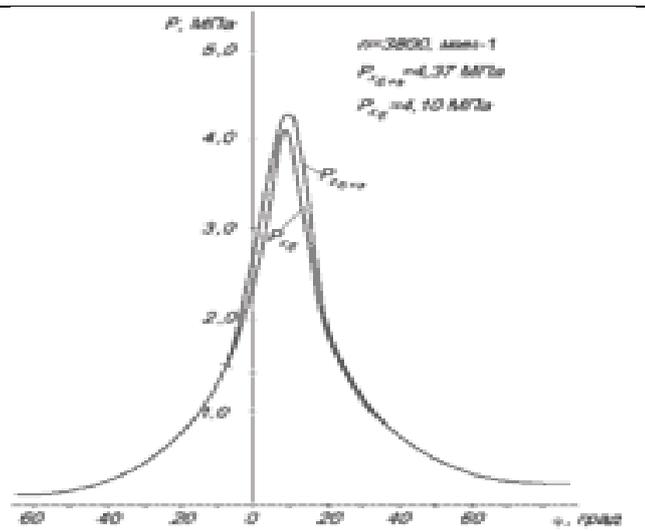


Рис.14. Индикаторная диаграмма двигателя при режим работы  $n=3800$  мин<sup>-1</sup> с бензином и бензино-водородного топливе

Таблица 1

Результаты внешняя скоростная характеристика и измерение вредных вещество двигателя F16D3

а) Топлива бензин

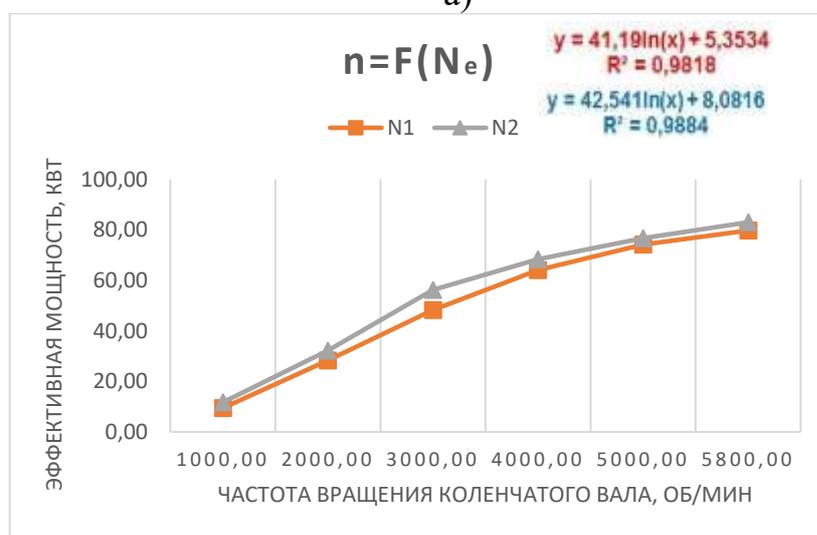
№ п/п	Модель двигателя	Результаты внешняя скоростная характеристика и измерение вредных вещество двигателя F16D3							
		Топлива бензин							
		Часовой расход топлива, $G_t$ , кг/час	Удельная расход топлива, $g_e$ , г/кВт*час	Мощность двигателя, $N_e$ , кВт	Крутящие моменты, $M_e$ , Н*м	CO	CO <sub>2</sub>	CH	NO <sub>x</sub>
	F16D3	2,75	291,02	9,45	90,43	1,06	4,30	288,00	361,00
	F16D3	4,48	177,10	28,29	126,01	1,94	5,44	221,00	343,00
	F16D3	5,52	108,15	48,28	150,01	2,40	6,39	174,00	322,00
	F16D3	6,23	115,09	64,10	152,23	2,59	6,87	147,00	311,00
	F16D3	6,68	135,10	74,20	145,01	2,80	7,08	139,00	304,00
	F16D3	6,95	202,10	79,80	135,41	2,85	7,10	135,00	303,00

б) Бензино-водородного топливе

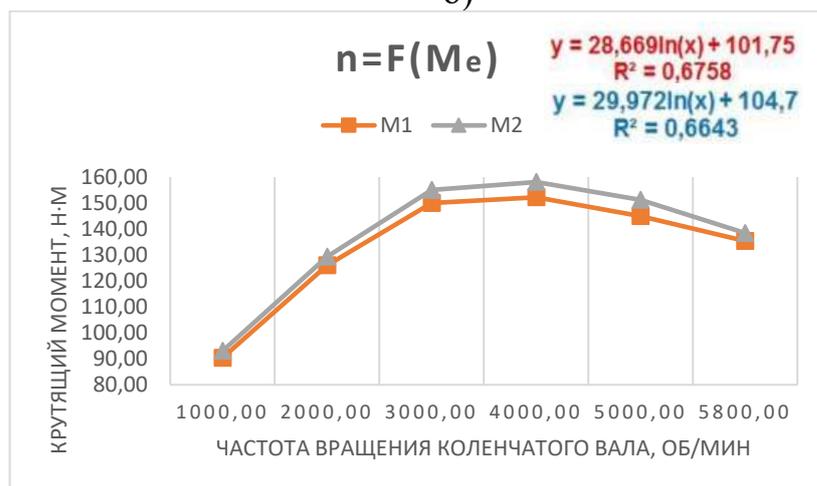
№ п/п	Модель двигателя	Результаты внешняя скоростная характеристика и измерение вредных вещество двигателя F16D3							
		Бензино-водородного топливе							

		Часовой расход топлива, $G_t$ , кг/час	Удельная расход топлива, $g_e$ , г/кВт*час	Мощность двигателя, $N_e$ , кВт	Крутящие момент, $M_e$ , Н*М	CO	CO <sub>2</sub>	CH	NO <sub>x</sub>
	F16D3	2,30	278,22	11,72	93,02	0,35	2,99	272,00	350,00
	F16D3	3,59	136,90	32,21	129,41	0,88	4,45	167,00	327,00
	F16D3	4,78	86,90	56,26	155,10	1,33	5,27	138,00	306,00
	F16D3	5,71	95,50	68,34	158,11	1,68	5,72	127,00	283,00
	F16D3	6,30	113,80	76,80	151,27	1,89	5,94	121,00	274,00
	F16D3	6,76	167,50	83,05	138,50	1,97	6,07	120,00	269,00

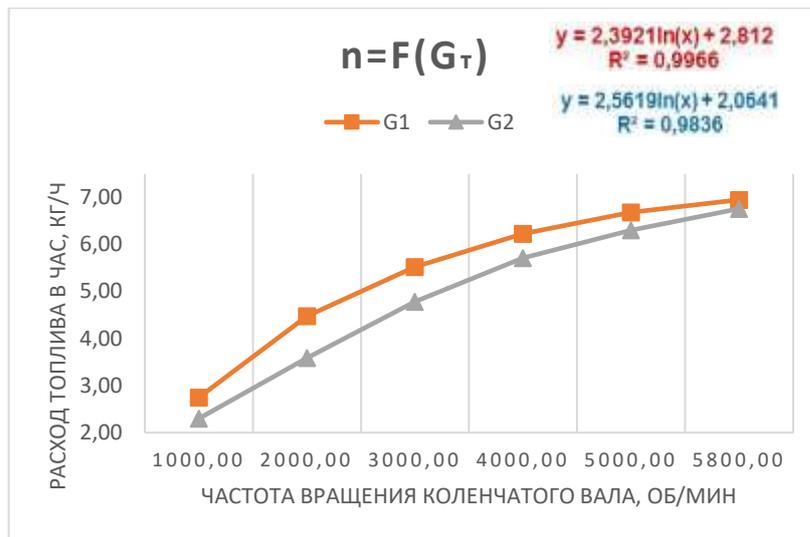
а)



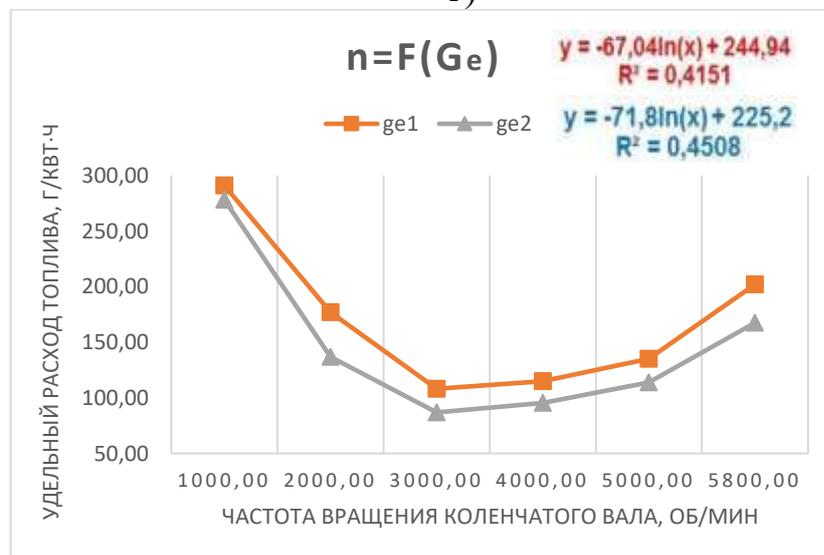
б)



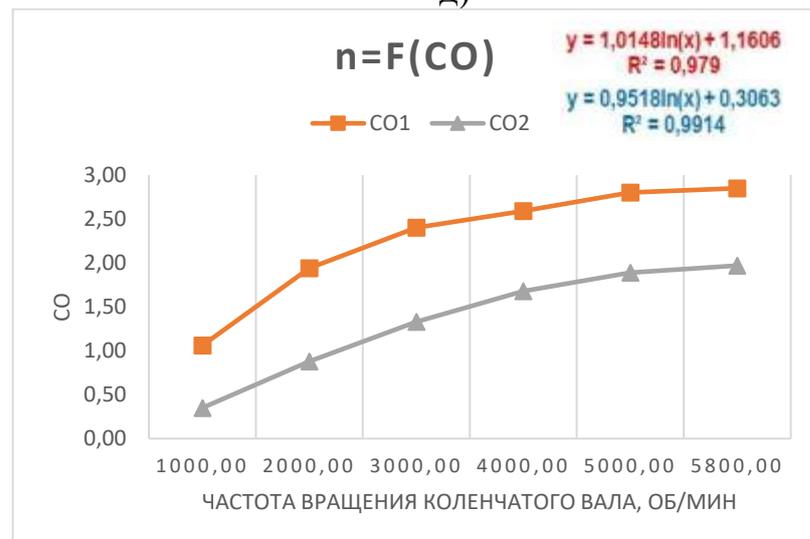
в)



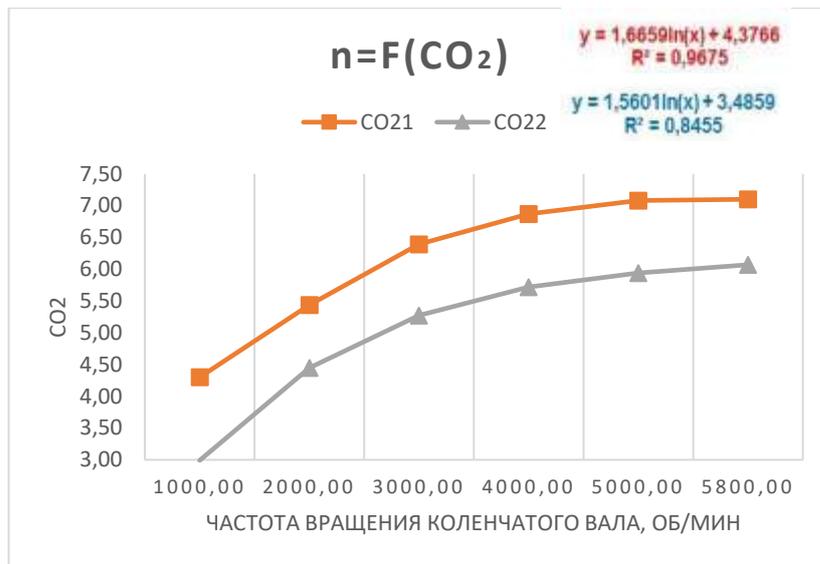
г)



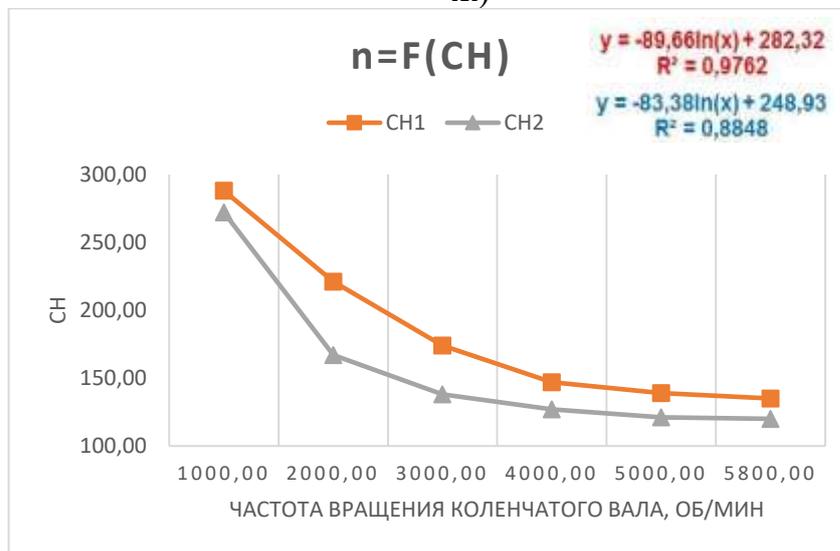
д)



е)



ж)



з)

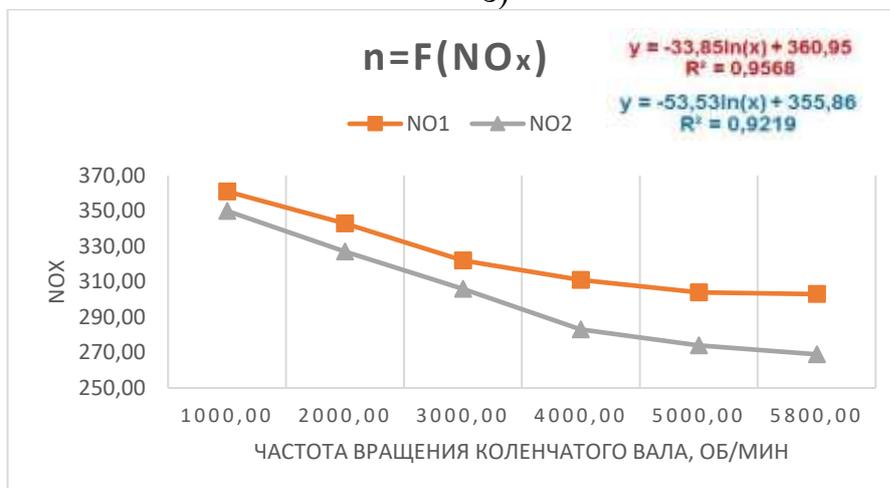


Рисунок 15. Внешне скоростные характеристики и экологические показатели двигателей внутреннего сгорания, работающих на бензине в качестве основного топлива и

бензино-водородного топлива. а) мощность двигателя; б) крутящие момент; в) часовой расход топлива; г) удельная расход топлива; д) CO; е) CO<sub>2</sub>; ж) CH; з) NO<sub>x</sub>.

Расчетный и экспериментальные базовый бензине (Аи-92) и сравнительные результаты данных по бензино-водородного топливо представлены в таблице 2.

Таблица 2.

Показатели	Использованное топливо					
	Бензин			Бензино-водородного топливе		
	Расчетный	Экспримен тальные	Δ, %	Расчетный	Экспримен тальные	Δ, %
Мощность, кВт	76,8	79,8	3,9	77,6	80,4	3,6
Крутящий момент, Н·м	134,6	139,7	3,7	136,9	142,9	4,3
Удельная расход топлива (энергии), г/кВт*ч	283,8	272,36	4,2	277,8	265,6	4,5

Сравнительные результаты расчета и экспериментальные данные показывает при бензино-водородного топливе мощность, крутящий момент увеличивается до 4%, и удельная расход топливо уменьшается до 4,5%.

Максимальная скорость движения, время разгона до 100 км/ч, выбросы CO, CH, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub> от выхлопных газов автомобилей, работающих на различных видах топлива в бензине и бензино-водородного топливе, полученные в ходе сравнительных полигонных и эксплуатационных испытаний, научная обоснованность принятые решения представлены в таблице 3, 5 и рисунке 14. По расчет результатов полигональных исследований и сравнительных результатов и экспериментальных данных показывает до 11% экономия расхода топливо.

Таблица 3.

Расчет результатов полигональных исследований и сравнительных результатов экспериментальных данных

Показатели		Средние расход топливо на 100 км	
		Бензин	Бензино-водородного топливе
120 км/час	Эксприментальные	7,79	6,92
90 км/час	Эксприментальные	7,5	6,67

В таблице 4 приведены результаты испытаний легкового автомобиля в городском цикле, проведенных на дорогах города Ташкента при основное топливо бензине и бензино-водородного топливо. Городском цикле проведенных на дорогах города Ташкента по результатам испытания до 7% экономия топливо.

Таблица 4.

Направлени е движения	Пройденны й путь, км	Средние расход топливо на 100 км	
		Бензин	Бензино-водородного топливе

		Фактический результат измерения	Среднее значение	Фактический результат измерения	Среднее значение
-	15	10,52	10,51	9,87	9,85
-		10,48		9,79	
+		10,54		9,86	
+		10,50		9,85	

По проведенным испытаниям при оборотах частоты вращения коленчатого вала двигателей  $n=800 \text{ мин}^{-1}$  оксида углерода при бензине 0,7%, углеродов объёмная доза 129 мил<sup>-1</sup> при добавке водорода бензино-воздушное смеси оксида углерода 0,33%, углеродов объёмная доза 97 мил<sup>-1</sup> (таб.5).

Таблица 5

Топливо	Оборотах частоты вращения коленчатого вала двигателей, мин <sup>-1</sup>	Оксида углерода, %	Углеродов объёмная доза, мил <sup>-1</sup>
Бензин	$n=800 \text{ мин}^{-1}$	0,7	129
Бензино-водородного топлива	$n=800 \text{ мин}^{-1}$	0,33	97

Сравнительные лабораторный, стендовый и эксплуатационные исследования двигателей легкового автомобиля в 2015-2024 годах в Ташкентский автомобильный дорожный институте, Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова и на Пискентском автомобильном полигоне были проведены, топливо на бензине и бензино-водородного топливе.

В пятой главе диссертации озаглавленном «Обобщение результатов экспериментального исследования», представлены перспективность и экономическая выгода от применения водорода в качестве добавки к бензиновому топливу, изменение фазы продолжительности сгорания и оценивалась стоимость получения водорода на борту легкового автомобиля.

Относительная продолжительность фазы сгорания от добавки водорода по составу смеси, а показана на рисунке 15. Из рисунка видно, что с добавлением водорода продолжительность фазы сгорания сокращается, так как уменьшение продолжительности сгорания при добавке 20% водорода в бензиновое топливе.

Добавка в бензиновое топливе диффузионного водорода и изучение массовой численности рассчиталось по формуле:

$$g_{H_2} = \frac{(G_{H_2})}{(G_{H_2} + G_B)},$$

где,  $G_{H_2}$  – массовая доля водорода в бензиновое топливе;  $G_B$  – массовая доля бензина в топливо воздушное смеси.

Это объясняется выражением, в данном случае мы рассматриваем массовые доли углерода только в газообразном топливе:

$$g_c = \frac{(1 - g_{H_2})}{(1 + \alpha[(1 - g_{H_2}) + g_{H_2}L_{H_2}])(\mu_c/\mu_B)}$$

где,  $L_B$  – теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1 кг бензина ( $L_B=14,45$  кг);

$L_{H_2}$  – теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1 кг водорода ( $L_{H_2}=34,48$  кг);

$g_{H_2}$  – массовая доля водорода в топливной смеси;  $\mu_C$  – атомная масса углерода ( $\mu_C=12$  г/моль);

$\mu_B$  – молекулярная масса бензина ( $\mu_B=112,88$  г/моль);

$\alpha$  – коэффициент избытка воздуха.

Анализируя формуле, замечаем, что с добавкой водорода в бензин массовая доля углерода выше. Так при  $\alpha =1.0$  и при  $H_2=5\%$   $g_c=0.042$ , а при  $H_2=15\%$ , массовая доля углерода в бензине равна  $g_c=0.036$ . Представленные это формулы ярко отражают массовые доли углерода, водорода и кислорода в бензино-водородного топливе.

Определяем углеродные эмиссии для бензино-воздушной смеси с добавкой водорода 0, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50% по формуле (таблица 6):

$$G_c = \frac{(G_B)}{(L_B G_{T \text{ бен}} + L_{H_2} G_{H_2})}$$

Таблица 6

Добавки водорода в бензино-воздушный смеси, H <sub>2</sub> %	Углеродные эмиссии для бензино-воздушной смеси, G <sub>c</sub>
0	0,053
5	0,05
10	0,048
15	0,045
20	0,043
25	0,04
30	0,038
35	0,035
40	0,032
45	0,03
50	0,025

Анализ рисунок 16, показывает, что углеродные эмиссия будет уменьшаться с добавкой водорода, и с обеднением смеси.

Итоги проверок свидетельствуют, о том, что углеродные эмиссия обладает минимальным значениям  $\alpha =1$  при  $H_2=50\%$ , в момент работы устройства и в отсутствии добавки водорода. Когда мы начинаем добавлять долю водорода в бензино-воздушной смеси происходит, тоже самое, углеродные эмиссия уменьшается.

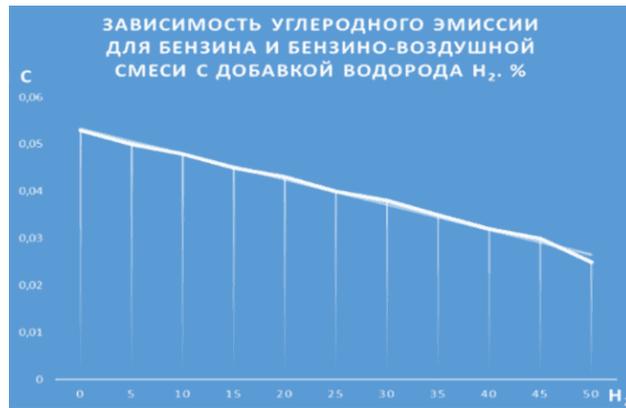


Рис. 16. Зависимость углеродной эмиссии для бензина и бензино-водородного топлива H<sub>2</sub> %

Проведем анализ результатов экспериментальных исследований, произведенных экспериментальными данными по влиянию добавки водорода на снижение расхода бензинового топлива. Испытания проводились на двигатель легкового автомобиля Лассетти оборудованном на борту системой подачи водорода из электролизёра, данные сведены представленные в таблицу 7.

Лабораторный анализ получения водорода показал, что минимальная стоимость один кг гремучего газа (водород + кислорода) составляет 19014 сум. В Узбекистане стоимость 1 кг гремучего газа, получаемого электролизом воды, зависит от стоимости электроэнергии, использованной для процесса. В среднем, затраты на электроэнергию могут составлять в среднем 2 долларов за килограмм газа. Полученная водород на борту автомобиля, что с учетом плотности водорода ( $\rho = 0,09 \text{ кг/м}^3$ ) составляет 0,0162 кг. За один часа электролизёр производит водорода (60 мин \* 3 литр=180 литр=0,18 м<sup>3</sup>). Один литр водорода это 0,001 м<sup>3</sup>, что с учетом плотности водорода ( $\rho = 0,09 \text{ кг/м}^3$ ) составляет  $0,09 * 0,18 = 0,0162 \text{ кг}$ . Следовательно, получаем стоимость 1 кг водорода равную 19014 сум. При этом средняя стоимость бензина составляет 6100 сум за 1 литр.

Таблица 7

Экономическая эффективности добавки водорода при работе на бензине Аи-92

п, мин <sup>-1</sup>	Ne <sub>б</sub> , кВт	Ne <sub>б+H<sub>2</sub></sub> , кВт	Gt <sub>бен</sub> , кг/ч	Gt <sub>б+H<sub>2</sub></sub> , кг/ч	Gt <sub>H<sub>2</sub></sub> , кг/ч (Производительность электролизёра на 1 минута 3 литра гремучего газа)	Суммарная цена расхода топлива, сум. 1 литр А-92 бензин стоит 6100 сумов	Суммарная цена расхода топлива, добавки водорода при работе на бензине сум. (19014 * 0,0162= 308 сумов)	Цена бензина, при которой появляется экономия, Р <sub>ев</sub> , сум/л.
1000	9,45	9,72	2,75	2,30	0,0162	16 775	14338	2 437
2000	25,29	26,21	4,48	3,59	0,0162	27328	22207	5121
3000	39,28	49,26	5,12	4,28	0,0162	31232	26416	4816
4000	64,10	68,34	6,23	5,71	0,0162	38003	35139	2864
5000	66,20	71,80	6,68	6,30	0,0162	40748	38738	2010

5800	79,80	83,05	6,95	6,76	0,0162	42395	41544	851
------	-------	-------	------	------	--------	-------	-------	-----

Если автомобиль двигателя работает режимах  $n=800$  до 5800 мин-1 оборотах коленчатого вала тогда средние значение экономия топлива бензина будить при добавки водорода бензино-воздушное смеси

$$P_{EBcp} = \sum P_{EB} / 6 = 15662 / 6 = 2610 \text{ сум/л.}$$

Из таблицы 7 видно, что экономическая эффективность применения добавок водорода возможна лишь при значительном повышении стоимости бензина до 1000-5000 сумов за 1 л. При этом количество добавляемого водорода должна быть минимальна и варьироваться до 0,0162 кг/ч, что указывает об актуальности исследований именно небольших добавок водорода, что также соответствует применения бортовых электролизеров в легковых автомобилях.

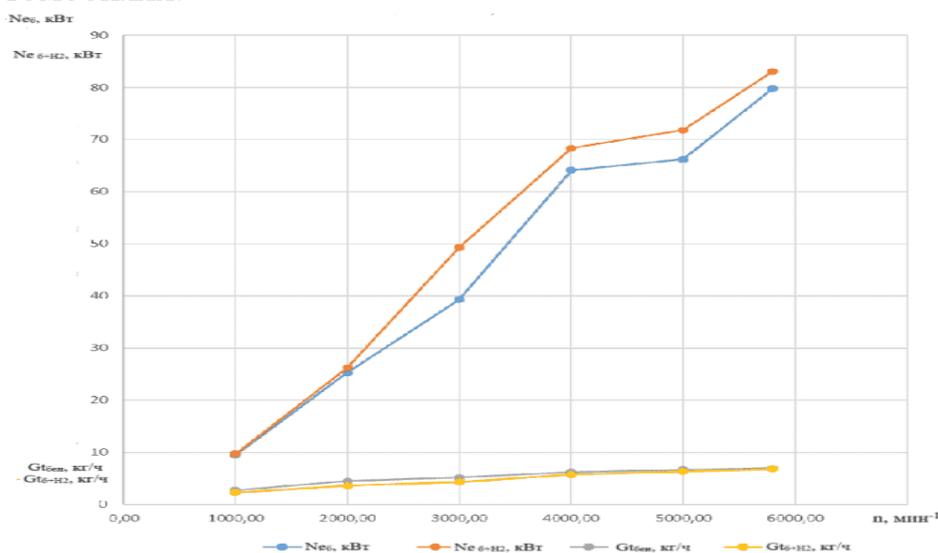


Рис.17. Мощностных и экономических показателей двигателя добавка водорода к бензино-воздушном смеси

Анализируя полученные данные можно сделать вывод о том, что применение бензино-водородного топливу становится экономическим оправданным, примерно до величины около 1000 до 5000 сумов за литр бензина и улучшает мощность 5 до 10% в разных режимов работе двигателя. В представленной работу оценивалась стоимость получения водорода на борту легкового автомобиля, что показывает несколько снизить стоимость водорода и повысить его привлекательность для потребителей.

Исследование изменений фаз продолжительности сгорания при бензине и бензино-водородного топливе открывает новые возможности для повышения эффективности и снижения воздействия двигателей внутреннего сгорания на окружающую среду (Рис. 18). Дальнейшие исследования должны сосредоточиться на технических аспектах реализации и оптимизации процесса сгорания.

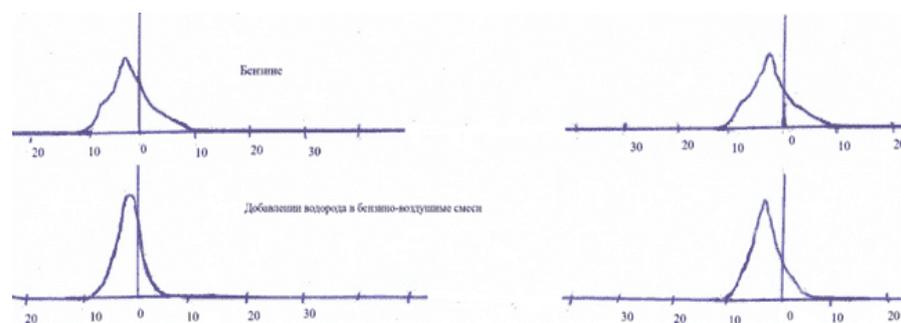


Рис. 18. Фазы продолжительности сгорания при бензине и бензино-водородном топливе

В шестой главе диссертации озаглавленной «**Экономический и экологический показатели двигателя и возможность практического применения результатов экспериментального исследования**», представлены рекомендации практического применения по внедрению результатов исследований, сравнение и оценка результатов экспериментов, их экологическая и экономическая эффективность.

В мировой практике использование водорода в качестве топлива для двигателей внутреннего сгорания связано, прежде всего, с сокращением выбросов углекислого газа –  $\text{CO}_2$ .

Выбросы парниковых газов для легкового автомобиля среднего класса составляют 135 г/км, что в будущем должно быть снижено до 90 г/км в результате поиска и внедрения новых технических решений.

Мы знаем, что при полном сгорании 1 кг углерода в результате химической реакции выделяется 3,67 кг углекислого газа, что может соответствовать расходу топлива бензина при пробеге около 5,3 л/100 км.

В то же время использование водорода, эфиров и спиртов с низким содержанием углерода или различным соотношением Н:С значительно снижает выбросы  $\text{CO}_2$ .

Концентрация углерода в бензине и водородосодержащие топливе определяется по аддитивному принципу (таб. 8):

$$S_{BV} = \sum_{i=1}^n G_i g_i, \quad (4.1)$$

где,  $G_i$  — процент углерода в  $i$ -топливе;

$g_i$  — доля  $i$ -го компонента в топливной смеси.

Таблица 8

Концентрация углерода в бензине и бензино-водородном топливе

Концентрация водорода, $\text{H}_2$ , %	процент углерода в $i$ -топливе, $G_i$	доля $i$ -го компонента в топливной смеси, $g_i$	Концентрация углерода в бензине и водородосодержащие топливе, $S_{BV}$
5	85,5	0,95	81,22
10	85,5	0,90	76,95
15	85,5	0,85	72,62
20	85,5	0,80	68,4
25	85,5	0,75	64,125
30	85,5	0,70	59,85
35	85,5	0,65	55,57
40	85,5	0,60	51,3

45	85,5	0,55	47,025
50	85,5	0,50	42,75

В этом случае показателем парникового эффекта является (таб. 9):

$$K_{PE} = \frac{SBV}{S_b} \quad (4.2)$$

здесь SBV – концентрация углерода в добавке водорода в бензино-воздушную смесь;

$S_b$  – концентрация углерода в водороде до 0. Это означает, что содержание углерода в топливе снижается по нашим экспериментальным данным более чем на 20% при использовании до 20% добавка водорода в бензино-воздушной смеси.

Применение данного устройства должно гарантировать, что количество водорода, добавляемого в бензино-воздушную смесь, составляет не менее 20%.

В таблице 11 представлены экономические показатели, используемые для расчета окупаемости переоборудования автомобилей для заправки водородом, т.е. установки оборудования для электролиза водорода. Таким образом, модернизация двигателя легкового автомобиля для добавления водорода в бензино-воздушную смесь, то есть установка электролизера водорода, окупается в течение 3,5 месяцев.

Цена смешанного моторного топлива рассчитывается по следующей формуле

$$T_{BV} = \sum_{i=1}^n C_i g_i, \text{ сум/л} \quad (4.3)$$

где  $T_{BV}$  – цена смешанного топлива;

$C_i$  – цена  $i$ -го компонента топливной смеси, сум/л;

$g_i$  – доля  $i$ -го компонента топливной смеси.

Цена и плотность топлива представлены в виде таблицы (табл. 10).

Путем добавления водорода в рекомендуемую бензино-воздушную смесь, т.е. расчет стоимости смешанного топлива

$$T_{\text{бен}80+\text{вод}20} = T_{\text{бен}} \cdot 0,80 + \text{Водород} \cdot 0,20 = 6100 \cdot 0,80 + 1711 \cdot 0,2 = 5222 \text{ сум/л.}$$

Здесь,  $T_{\text{бен}}$  – цена бензина; Водород – цена водорода;

$T_{\text{бен}80+\text{вод}20}$  – цена смешанного топлива.

Таблица 9

Расчет парникового эффекта топлива при бензино-водородном топливе

Расчет энергетической и экологической эффективности использования смесевых топлив путем добавления водорода в смесь бензина и бензина с

Концентрация водорода, H <sub>2</sub> , %	Концентрация углерода в бензине и водородосодержащие топливе, S <sub>BV</sub>	Коэффициент парникового эффекта, K <sub>PE</sub>
5	81,22	0,95
10	76,95	0,90
15	72,62	0,85
20	68,4	0,80
25	64,125	0,75
30	59,85	0,70
35	55,57	0,65
40	51,3	0,60
45	47,025	0,55
50	42,75	0,50

воздухом представлен в виде таблицы (табл. 11).

Таблица 10

### Цены и плотность топлив

№	Название топлива	Плотность топлива, кг/л	Стоимость топлива, сум/л
1	Бензин	760	6100
2	Водород	0,09 кг/м <sup>3</sup>	1711
3	Добавка водорода бензино-воздушной смеси	760	5222

Таблица 11

Энергетическая и экологическая эффективность использования смесевых топлив за счет добавления водорода в бензин и бензино-воздушную смесь.

№	Показателей	Единица измерения	Лековой автомобиль 1,6 литровыми двигателями		Примечание
			Бензине	Добавка водород бензино-воздушное смеси	
1	Цена топливо	сум/л	6100	5222	
2	Расход топлива на 100 км	100 км/л.	7,5	6,67	
3	Стоимость топлива на 100 км	сум/100км	45 750	34831	
4	Соотношение пройденного расстояния	%	100	83	

5	Годовой пробег	тыс. км	75	75	
6	Годовой расход топлива	млн. сум.	34,312 500	26,123250	
7	Годовая экономия топлива	млн. сум.	-	8,189 250	
8	Стоимость оборудования	млн. сум	-	2,5	
9	Срок окупаемости	год	-	3,5 месяц	
10	Выхлопные газы по пройденному маршруту - окись углерода - углеводороды - оксиды азота - сажа, кг/км	(кг/год)	0,0106 (795) 0,00129(96,75) 0,00064 (48) 0,0111 (832,5)	0,009 (675,7) 0,001096 (82,2) 0,00054 (40,5) 0,00944 (707,6)	Удельные выбросы загрязняющих веществ, kg/kg В (В80+V20) СО 0,01 (0,009) СН 0,00129 (0,00109) NOx 0,00064 (0,00054) СО <sub>2</sub> 0,0111 (0,00944)
11	Экологический ущерб за годовой пробег – оксид углерода – углеводородов – окислы азота – сажи	тысяча сум	5,29 2,28 20,11 368,8	4,22 1,92 13,27 293,2	Размер компенсационных выплат, сум/кг: СО – 6,24 СН – 23,4 NOx – 327, 6 СО <sub>2</sub> – 414,360
12	Суммарный годовой экологический ущерб	тысяча сум	396,48	312,61	–
13	Предотвращенный годовой экологический ущерб	тысяча сум	–	98,65	–
14	Суммарный годовой энерго-экологический эффект эксплуатации одного автомобиля в год	млн. сум	–	2,91838	

Изучение экономических и экологических показателей автомобиля, таких как Chevrolet Lachetti, при использовании водородных добавок в бензино-воздушную смесь может привести к интересным выводам. Основные аспекты включают:

Экономические показатели:

1. Расход топлива: при добавлении водорода снизить общий расход бензина, так как водород способствует более полному сгоранию смеси. Эффективное сгорание может привести к уменьшению объемов топлива, необходимых для достижения заданной мощности.

2. Стоимость топлива: В зависимости от доступности и стоимости водорода, общие затраты на топливо могут измениться. Водород может требовать дополнительных расходов на производство или заправку.

3. Обслуживание: Модернизация двигателя для работы на водородных добавках может потребовать дополнительных затрат на оборудование и техническое обслуживание, но это может быть компенсировано снижением расхода топлива.

4. Срок службы оборудования: Изменения термодинамических условий могут повлиять на износ двигателя, что также должно учитываться в экономических расчетах.

Экологические показатели:

Использование водорода способствует снижению выбросов углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ). Поскольку водород сгорает чисто, уровень углеводородов в выхлопах может быть значительно ниже. Сгорание водородно-бензиновой смеси может привести к снижению выбросов угарного газа, что имеет положительное влияние на качество воздуха. Результате более плавного и равномерного сгорания уменьшается уровня шума и вибраций.

Бензино-водородное топливо улучшает эффективность сгорания, снизить выбросы загрязняющих веществ и повысить мощность двигателя. Это связано с тем, что водород имеет более высокую скорость сгорания и более чистый процесс горения по сравнению с бензином.

Анализ возможности практического применения бензино-водородное топливо включает несколько аспектов:

1. Экологические преимущества: снижение выбросов  $\text{CO}_2$  и вредных веществ, таких как оксиды азота и угарный газ, что соответствует современным экологическим стандартам.

2. Эффективность сгорания: водород увеличивает скорость сгорания и энергетическую отдачу, что может привести к повышению мощности и экономичности двигателей.

3. Технологические вызовы: необходимость адаптации двигателей и систем подачи топлива для обеспечения безопасного и эффективного смешивания водорода с бензином.

4. Экономические аспекты: оценка затрат на производство и хранение водорода, а также возможные инвестиции в инфраструктуру.

5. Безопасность: учет рисков, связанных с высокопотенциальными взрывами и необходимостью хранения водорода в специальных условиях.

В целом, результаты исследования могут быть полезны для разработки более эффективных и экологически чистых транспортных технологий, однако требуют дальнейших исследований и тестирования.

Практическое применение этих результатов, может быть, в разработке гибридных двигателей, улучшении топливной экономичности и минимизации экологического следа автомобилей. Однако необходимо учитывать вопросы безопасности и технологические сложности, связанные с хранилищем и подачей водорода.

Практические аспекты внедрения водорода в двигатели внутреннего сгорания включают несколько ключевых направлений:

1. Модификация системы впрыска: для эффективного сгорания водорода необходимо изменить или модернизировать систему впрыска, чтобы обеспечить оптимальное соотношение водорода и бензина, а также контролировать подачу топлива в зависимости от режимов работы двигателя.

2. Адаптация системы зажигания: системы зажигания могут потребовать доработки для обеспечения более раннего зажигания, поскольку водород имеет более высокую скорость сгорания. Это поможет избежать проблемы детонации и обеспечит оптимальное сгорание смеси.

3. Улучшение системы охлаждения: повышение температуры сгорания и изменения в рабочем цикле могут потребовать улучшения системы охлаждения двигателя для предотвращения перегрева.

4. Обработка материалов: водород может вызывать коррозию и износ некоторых материалов. Необходимо использовать устойчивые к водороду материалы для компонентов системы впрыска и топлива.

5. Контроль выбросов: установка систем очистки и контроля выбросов для минимизации вредных выбросов, особенно оксидов азота (NOx), с учетом измененного режима сгорания.

6. Тестирование и валидация: перед внедрением любых модификаций необходимо проводить обширные испытания и валидацию для оценки эффективности и надежности двигателя при использовании водорода.

7. Разработка инфраструктуры: требуется развитие инфраструктуры для производства, хранения и заправки водородом, что может включать создание водородных станций и оптимизацию логистики.

8. Обучение персонала: Работники, занимающиеся обслуживанием и эксплуатацией модифицированных двигателей, должны пройти обучения по безопасной работе с водородом и новыми технологиями.

9. Финансовые инвестиции: Внедрение водорода требует значительных начальных инвестиций в модернизацию оборудования и технологий, что должно быть учтено в бизнес-плане.

Эти аспекты требуют комплексного подхода и тщательного планирования для успешного и безопасного внедрения водорода в двигатели внутреннего сгорания.

## **ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ**

1. Выполненный анализ проблем связанных с исчерпанием запасов ископаемых углеводородов и с изменением климата планеты указывает на необходимость принятия неотложных мер по обнулению углеродной эмиссии ОГ во всех отраслях энергетики, в том числе и на автотранспорте. Однако

уязвимость теорий «парникового эффекта» и «озоновых дыр», заключающаяся в биологической необходимости круговорота углерода в природе, без которого жизнь на планете.

2. Основу мирового пассажирского транспорта составляют легковые автомобили, оснащенные преимущественно быстроходными ДВС (моторами Отто), находящиеся в частном владении. Единовременный запрет на углеродную эмиссию ОГ и конверсия двигателей на **чистое топливо – водород**, чего добиваются сторонники **зеленого** движения, может вызвать социальный взрыв мирового масштаба, так как это мероприятие сделает непригодными сотни миллионов эксплуатируемых автомобилей.

3. Перевод транспортных средств на питание экологически чистым топливом, по мере физического старения эксплуатируемых легковых автомобилей, при котором должны выполняться более жесткие стандарты по эмиссию CO<sub>2</sub> с ОГ.

4. Проведенный теоретический анализ электрохимических процессов, происходящих при электролизе воды позволил выбрать рациональный состав электролита и режим получения газа водорода и кислорода (газа Брауна или гремучего газа). Сформулированы основы теории объемного горения топлива в термодинамическом цикле Отто и показана значимость участия в нем ионов водорода и кислорода. Теоретически обоснована возможность существенного снижения эмиссии углерода в двигателях с циклом Отто посредством повышения энергии активации процесса горения. Выведены аналитические зависимости, позволяющие оценить степень активации смеси бензино-водородного топлива.

5. Теоретически обоснован состав бинарной смеси, бензино-водородном топливе обеспечивающего эффективное горение в широком диапазоне скоростных и нагрузочных режимов работы на примере двигателя F16D3 легкового автомобиля.

6. Модернизирована экспериментальная установка для проведения научных исследований, а именно для изучения рабочего процесса двигателя (на бензине и при добавке водорода в бензино-воздушные смеси). Усовершенствована установка генератора водорода (электролизер) для получения и непрерывного обеспечения водорода с учетом режимы работы двигателя. Разработана методика проведения испытания изучения процессов двигателя, работающих на бензине и бензино-водородном топливе.

7. Результаты математического расчета внешних скоростных характеристик двигателя показывают, что добавка водорода в бензино-воздушную смесь улучшает энергетические и экономические показатели двигателя. С ростом частоты вращения коленчатого вала двигателя на бензино-водородном топливе коэффициент наполнения  $\eta_v$  увеличивается до 3%.

8. Полученные экспериментальные результаты показывают, что в бензино-водородном топливе процесс сгорания происходит в меньшем объеме камеры сгорания за меньшее время, что увеличивает максимальное давление

в цилиндре на 5-7% и тем самым улучшает мощностные характеристики двигателя. При бензино-водородном топливе среднее эффективное давление в цилиндре двигателя увеличилось на 9%. При добавлении водорода в бензино-воздушную смесь количество впрыскиваемого в цилиндр топлива уменьшалось до 15%. По анализу результатам полученные внешние скоростные характеристика разные режима двигателя экологическая оценка на бензине и при бензино-водородном топливе проводилась по снижению вредных выбросов CO 30-50 %, CH 6-20 %, NO<sub>x</sub> 5-12 % и парниковых газов углекислого газа CO<sub>2</sub> 15-30 %.

9. Сравнение экспериментальных внешних скоростных характеристик двигателей внутреннего сгорания легковых автомобилей F16D3, работающих на бензине в качестве основного топлива и на бензино-водородном топливе, показывает увеличение мощностных показателей на 5-7% а экономических показателей до 15%. Экономическая эффективность по расчетам результатов полигональных исследований и сравнительных результатов и экспериментальных данных показывает до 11% экономии расхода топлива. В городском цикле проведенных на дорогах города Ташкента по результатам испытания получено до 7% экономия топлива. По проведенным испытаниям установлено: оксида углерода при бензине 0,7%, углеродов объёмная доза 129 мил<sup>-1</sup>; при бензино-водородном топливе оксида углерода 0,33%, углеродов объёмная доза 97 мил<sup>-1</sup>.

10. По разработанной методики определение продолжительности фазы сгорания режимах работы двигателя определено общее время и продолжительности фазы сгорания. При бензино-водородном топливе продолжительности фазы сгорания уменьшается 5<sup>0</sup> до 7<sup>0</sup>, необходимое для полного сгорания смеси. Это приводит к более быстрому достижению максимального давления в цилиндре двигателя. Проведенные экспериментальные, полигонные и городском цикле научные исследования показали надежность и безопасность работы водородного генератора на борту автомобиля.

11. Применение бензино-водородного топливу становится экономическим оправданным, примерно до величины около 2610 сумов за литр бензина и улучшает мощность 5 до 10% в разных режимов работе двигателя. В представленной работу оценивалась стоимость получения водорода на борту легкового автомобиля, что показывает несколько снизить стоимость водорода и повысить его привлекательность для потребителей. Содержание углерода в топливе снижается по нашим экспериментальным данным более чем на 20% при использовании бензино-водородном топливе. Общая годовая энергетическая и экологическая эффективность эксплуатации одного легкового автомобиля при бензино-водородном топливе составляет 2,9 млн. сумов, а ущерб окружающей среде, подлежащий устранению за год, составил 98,7 тыс. сумов.

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

---

**TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY**

**ISMATOV JUMANIYEZ FAYZULLAYEVICH**

**SCIENTIFIC BASIS FOR USING GASOLINE-HYDROGEN FUEL TO  
MINIMIZE CARBON EMISSIONS FROM EXHAUST GASES OF  
PASSENGER CAR ENGINES**

**05.08.06 – Wheeled and tracked vehicles and their operation**

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

**Tashkent-2025**

**The theme of the thesis of Doctor of Science (DSc) was registered in the Higher Attestation Commission under the Ministry of Higher Education, Science and Innovation of the Republic of Uzbekistan under number B2025.1.DSc/T191.**

The dissertation has been prepared at the Tashkent State Technical University and the Tashkent State Transport University.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (uzbek, russian, english (resume) on the website [www.tstu.uz](http://www.tstu.uz) and on the website of "Ziyonet" Information and Educational Portal [www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz).

**Scientific advisor:** **Kadirov Sarvar Mukadirovich**  
doctor of technical sciences, academician

**Official opponents:** **Muhitdinov Akmal Anvarovich**  
Doctor of Technical Sciences, Professor

**Sharipov Kungirov Avazembetovich**  
Doctor of Technical Sciences, Professor

**Kadir Aydin**  
Doctor of Technical Sciences, Professor

**Leading organization:** **National Research University "Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers"**

The defense of the dissertation will take place « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 at \_\_\_\_\_ at the meeting of Scientific council № DSc.15/31.08.2022.T.73.03 at the at Tashkent State Transport University (Address:100167, Tashkent city, Temiryulchilar str, 1. Phone: (+99871)2990001, fax: (99871)293-57-54, e-mail: [rectorat@tstu.uz](mailto:rectorat@tstu.uz), [tashiit@exat.uz](mailto:tashiit@exat.uz)).

The dissertation registered in Information Resource Centre of the Tashkent State Transport University (is registered number № \_\_\_\_). Address:100167, Tashkent city, Temiryulchilar str, 1. Phone: (+99871)2990001, fax: (99871)293-57-54, e-mail: [rectorat@tstu.uz](mailto:rectorat@tstu.uz), [tashiit@exat.uz](mailto:tashiit@exat.uz)).

The abstract of the dissertation was distributed on « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 y.  
(Protocol at the register № \_\_\_\_ on « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 y.)

**A.A. Riskulov**  
Chairman of the scientific council  
awarding scientific degrees,  
doctor of technical sciences, professor

**K.Z. Ziyaev**  
Scientific secretary of scientific council  
awarding scientific degrees,  
PhD in technical sciences, docent

**A.A. Mukhitdinov**  
Chairman of the academic seminar under  
The scientific council awarding scientific degrees,  
doctor of technical sciences, professor

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

## A brief content of dissertation abstract of doctor of sciences (DSc) INTRODUCTION (abstract of DSc dissertation)

**The aim of the study** is to minimize carbon emissions in the exhaust gases of passenger car engines using gasoline-hydrogen fuel.

The F16D3 engine of a passenger car was chosen **as the object of the study**.

**The subject** of the study is carbon emissions in the exhaust gases of passenger car engines running on gasoline-hydrogen fuel.

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

improved methods for assessing the efficiency of the working cycle of a gasoline-hydrogen engine with the Otto cycle using the interpolation method and theoretical justification for the possibility of reducing carbon emissions in the exhaust gases by increasing the activation energy of the combustion process;

using the graph-analytical method, improved theoretical foundations for calculating the composition of the gasoline-hydrogen fuel mixture, ensuring efficient combustion of fuel in a passenger car engine in a wide range of speeds and load modes, taking into account the amount of hydrogen supplied to the fuel-air mixture of the engine;

using experimental research methods, a technique for determining the duration of the combustion phase, taking into account the engine operating modes using the graph-analytical method;

using the method of correlation and regression analysis, improved the technique for assessing the level of efficient use of the heat of combustion of gasoline-hydrogen fuel in the main combustion phase;

efficiency of the engine on gasoline-hydrogen fuel, reduction of carbon emissions in exhaust gases, based on calculation-analytical and experimental methods;

criteria for assessing the duration of the combustion phases of the engine when running on gasoline-hydrogen fuel were developed using experimental methods.

Implementation of research results. Based on the results of scientific research on increasing fuel efficiency and minimizing carbon emissions with exhaust gases of passenger cars equipped with internal combustion engines by converting them to a fuel mixture of gasoline and hydrogen:

a method for assessing the efficiency of the engine operating cycle, taking into account the concentration of the combustible mixture, was introduced (Certificate of the Ministry of Ecology, Environmental Protection and Climate Change of the Republic of Uzbekistan No. 03-03 / 1-03 / 3-3999 dated April 24, 2025). As a result, fuel efficiency of various vehicles running on gasoline-hydrogen fuel has been achieved, in particular, passenger cars equipped with an internal combustion engine with spark ignition, which allows saving up to 11% of energy, which leads to a reduction in environmental problems;

improvement of calculation, analytical and experimental methods for reducing carbon emissions in exhaust gases, the efficiency of engines running on

gasoline-hydrogen fuel, introduced by the Ministry of Ecology, Environmental Protection and Climate Change of the Republic of Uzbekistan (Order of the Ministry "24" dated 03-03 / 1-03 / 3-3999, 2025). As a result, during a test drive with the addition of hydrogen to the gasoline-air mixture, fuel economy was achieved at a speed of 120 km / h - 11.17%, at a speed of 90 km / h - 11.06%, and in the urban cycle - 6.29%;

the theoretical basis for calculating the composition of the gasoline-hydrogen fuel mixture, ensuring efficient combustion of a passenger car engine in a wide range of speed and load modes, taking into account the amount of hydrogen supplied to the engine's air-fuel mixture, has been improved using the graphoanalytical method introduced by the Ministry of Ecology, Environmental Protection and Climate Change of the Republic of Uzbekistan (Ministry Handbook No. 03-03 / 1-03 / 3-3999 dated "24" - April 2025), which, based on the analysis of the results of the obtained external speed characteristics of the engine operating in various modes, made it possible to conduct an environmental assessment of gasoline and gasoline-hydrogen fuel, reduce toxic and harmful emissions, CO by 30-50%, CH 6-20%, NOx 5-12% and greenhouse gases carbon dioxide CO<sub>2</sub> by 15-30%;

criteria for assessing the duration of engine combustion phases when running on gasoline-hydrogen fuel using experimental methods, approved by the Ministry of Ecology, Environmental Protection and Climate Change of the Republic of Uzbekistan (Order of the Ministry "24" - April 2025 No. 03-03 / 1-03 / 3-3999). The use of gasoline-hydrogen fuel is economically justified, its cost is up to 2610 soums per liter of gasoline, and engine power increases by 5-10 percent in various operating modes. As a result, the annual energy and environmental efficiency of operating one passenger car on gasoline-hydrogen fuel is 2.9 million. It has been achieved that the environmental damage that must be eliminated over these years is 98.7 thousand soums.

The developed method and device for using hydrogen as an additive to gasoline have been transferred to the Ministry of Ecology, Environmental Protection and Climate Change and the Ministry of Transport of the Republic of Uzbekistan for use in design work.

The results of this work have been implemented in the educational process for the preparation of bachelors and masters of the Tashkent State Technical University named after Islam Karimov.

**The aim of the research work.** Minimization of carbon emissions in exhaust gases of passenger car engines by using gasoline-hydrogen fuel.

**The objects of research** F16D3 engine (1.6 l) of GM Chevrolet Cruze/Aveo/Lacetti passenger car.

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

improved methods for assessing the efficiency of the working cycle of a gasoline-hydrogen engine with the Otto cycle using the interpolation method and theoretical justification for the possibility of reducing carbon emissions in exhaust gases by increasing the activation energy of the combustion process;

using the graph-analytical method, improved theoretical foundations for calculating the composition of the gasoline-hydrogen fuel mixture, ensuring efficient combustion of fuel in a passenger car engine in a wide range of speeds and load modes, taking into account the amount of hydrogen supplied to the fuel-air mixture of the engine;

using experimental research methods taking into account the engine operating modes, a method for determining the duration of the engine combustion phase has been developed;

using the method of correlation and regression analysis, an improved method for assessing the level of efficient use of the heat of combustion of gasoline-hydrogen fuel in the main phase of the combustion process;

when a spark-ignition engine runs on gasoline-hydrogen fuel, experimental methods have proven the efficiency of the working process and a reduction in carbon emissions in the exhaust gases;

when using gasoline-hydrogen fuel in an engine, criteria for assessing the duration of combustion phases taking into account the amount of hydrogen in the combustible mixture have been developed using experimental methods.

**The practical results of the study are as follows:**

a method for adding hydrogen to gasoline-air mixtures in internal combustion engines has been substantiated, increasing the efficiency of heat use and reducing the toxicity of exhaust gases;

a methodology for conducting experimental (field, operational) studies of the features of regulating the composition of the mixture of an engine running on gasoline-hydrogen fuel and a fuel supply system implementing these features has been developed;

a method has been developed for minimizing carbon emissions and obtaining hydrogen of the required content by increasing environmental safety and fuel efficiency through the use of dual-fuel (gasoline-hydrogen) fuel in internal combustion engines;

a hydrogen generator system for automatic control of various operating modes of an internal combustion engine has been improved.

**Implementation of the research results.** According to the results of scientific research on increasing fuel efficiency indicators and minimizing carbon emissions of exhaust gases in passenger cars ICE conversion of their binary mixture gasoline-hydrogen fuel:

taking into account the concentration of the combustible mixture, the methodology for assessing the efficiency of the engine operating cycle was introduced by the Ministry of Transport of the Republic of Uzbekistan (reference of the Ministry dated February 28, 2025-yil No. 187). As a result, on various vehicles running on gasoline-hydrogen fuel, in particular, on a passenger car equipped with an internal combustion engine with spark ignition, fuel savings of up to 11% were achieved, which, according to the analysis of the results of the obtained external speed characteristics of different engine modes, the environmental assessment on gasoline and gasoline-hydrogen fuel was carried out not only to reduce harmful

emissions of CO 30-69%, CH 6-20%, NO<sub>x</sub> 5-12% and greenhouse gases carbon dioxide CO<sub>2</sub> 15-30%. The developed method and device for using hydrogen as an additive to gasoline were transferred for use in design and engineering work to the Tashkent City Committee for Nature Protection and the Ministry of Transport.

The results of the work were implemented in the educational process during the preparation of bachelors and masters at the Tashkent State Technical University named after Islam Karimov.

The results of this work were included in two reports on economic contract topics of R&D TADI and TSTU.

**The structure and volume of the thesis.** The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of references and applications. The volume of the dissertation is 174 pages.

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

**I часть**

1. Исмаатов Ж.Ф., Қодиров С.М. Водород как добавка углеводородному топливу. Тошкент автомобил йўлларини лойиҳалаш, қуриш ва эксплуатацияси институти журнали. №1, 2017 йил. 22-27 бетлар. (05.00.00; №15).

2. Исмаатов Ж.Ф., Қодиров С.М. Особенности работы двигателей внутреннего сгорания при использовании водорода. Тошкент автомобил йўлларини лойиҳалаш, қуриш ва эксплуатацияси институти журнали. №1, 2017 йил. 27-35 бетлар. (05.00.00; №15).

3. Исмаатов Ж.Ф., Қодиров С.М. Использование водорода в качестве топлива для двигателей внутреннего сгорания. Тошкент автомобил йўлларини лойиҳалаш, қуриш ва эксплуатацияси институти журнали. №2, 2017 йил. 12-18 бетлар. (05.00.00; №15).

4. Исмаатов Ж.Ф., Қодиров С.М., Аширов В.Р. Комилов Н.С. Автомобилларнинг экологик кўрсаткичларини баҳолаш. Kompozitsion materiallar. Ilmiy-texnikaviy va amaliy jurnali. Тошкент. 2019у. №2. ISSN : 2091-5527. (05.00.00; №13).

5. Исмаатов Ж.Ф., Қодиров С.М., Жураев Қ. Ч., Тиллаходжаев Р.Р., Комилов Н.С. Ички ёнув двигателлари учун композицион аралашмали ёнилғиларни яратиш йўллари. Kompozitsion materiallar. Ilmiy-texnikaviy va amaliy jurnali. Тошкент. 2019у. №2. ISSN : 2091-5527. (05.00.00; №13).

6. Ж.Ф. Исмаатов, Г.М. Файзуллаева, А.Д. Бахриев. Использование композиционных материалов в машиностроительных отраслях. Kompozitsion materiallar. Ilmiy-texnikaviy va amaliy jurnali. Тошкент. 2021у. №1. (05.00.00; №13).

7. Ж.Ф. Исмаатов, Г.М. Файзуллаева, С.Г. Бекмуродов, А. Хужамов. Композицион ёкилгилар ва уларнинг ананавий ёкилги кўрсаткичларига тасири. Kompozitsion materiallar. Ilmiy-texnikaviy va amaliy jurnali. Тошкент. 2021у. №1. (05.00.00; №13).

8. Исмаатов Ж.Ф., Файзуллаева Г.М., Аширов В.Р., Усанов А. Э. Применение водорода для автомобильных двигателей. U55. Научный журнал Universum: технические науки. Изд. «МЦНО», Выпуск: 5(86). Май. 2021. Часть 1. Москва 2021. ISSN: 2311-5122. DOI:10.32743/UniTech.2021.85.4-2. <http://7universum.com/ru/tech/archive/category/586>. Стр. 88-92. (02.00.00; №1).

9. Ж.Ф. Исмаатов. Бензин-ҳаво аралашмасига водород бериш орқали энгил автомобиль эксплуатацион кўрсаткичларини ошириш. ЎзМУ хабарлари. ВЕСТНИК НУУз. АССТА NUUZ/ №3/1. 2019. ISSN 2181-7324. 152-155 бетлар. (02.00.00; №12).

10. J. Ismatov, J. Khakimov, S. Eshkabilov, N. Vadulina. Processes of Mixture Formation, Ignition and Combustion of a Diesel Engine. Annals of R.S.C.B.,

ISSN:1583-6258, Vol. 25, Issue 3, 2021, Pages. 6527 - 6545 Received 16 February 2021; Accepted 08 March 2021.

11. Ismatov J.F., Jalilov J.Kh., Bekmurodov S.G., Khujamov A., Fayzullaev As.J. Improving The Economic And Environmental Performance Of Engines Through The Use Of Alternative Fuels. The American Journal of Engineering and Technology (ISSN – 2689-0984 Published: April 30, 2021 | Pages: 123-129 Doi: <https://doi.org/10.37547/tajet/Volume03Issue04-19> IMPACT FACTOR 2021: 5. 705 O CLC - 1121105677. Стр. 123-129. (IF=5.705).

12. J. Ismatov, S. Kalauov, O. Xushnaev, A. Yangiboev, M. Fayziev Heat Stressed State of Piston Engine Parts. International Journal of Current Science Research and Review ISSN: 2581-8341 Volume 05 Issue 03 March 2022 DOI: 10.47191/ijcsrr/V5-i3-32, Impact Factor: 5.825 IJCSRR @ 2022. (IF=8.048).

13. Ismatov. J.F, Djalilov. J.X, Qodirov. S.M, Asqarov. J.A. Muqobil kompozit yonilg'idan vodorod ishlab chiqarish uchun vodorod elektrolezyori (generatori) qurilmasi. O'zbekiston Kompozitsion Materiallar ilmiy-texnikaviy va amaliy jurnali. Toshkent 2025. №1/2025 ISSN: 2091-5527. P 100-102. (05.00.00; №13).

14. Ismatov. J.F, Djalilov. J.X, Qodirov. S.M, Asqarov. J.A. Yengil avtomobil dvigatellarining ekspluatatsion ko'rsatkichlarini muqobil kompozitsion yonilg'ilar qo'llash orqali yaxshilash. O'zbekiston Kompozitsion Materiallar ilmiy-texnikaviy va amaliy jurnali. Toshkent 2025. №1/2025 ISSN: 2091-5527. P 125-128. (05.00.00; №13).

15. Ismatov. J.F, Yangibaev A.I., Jalilov A.A., Vadulina N.V. Main factors that influence the thermal stress state of piston engine parts. ISSN: 2181-0400 [tdtjournal@mail.ru](mailto:tdtjournal@mail.ru). TECHNICAL SCIENCE AND INNOVATION. TASHKENT. №.2. 2021. P. 273-280. (05.00.00; №16).

## II часть

16. J. Ismatov, M. Aripdjanov, J. Mirzaabdullaev, R. Tillahodjaev, A. Mirzaev, H. Viarshyna. Operating indicators in diesels with reduced heat and energy losses. ICECAE-2022 IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 1142 (2023) 012021 IOP Publishing. doi:10.1088/1755-1315/1142/1/012021

17. Jumaniyez Ismatov, Jamshid Khakimov, Saydulla Kalauov and Abduxalil Ismatov. Evaluation of the efficiency of thermal insulation of the combustion chamber according to the load characteristics of a diesel engine. AEGIS-III-2023 IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 1231 (2023) 012013 IOP Publishing doi:10.1088/1755-1315/1231/1/012013

18. Исматов Ж.Ф., Аширов В.Р. Анализ исследований по использованию водорода в качестве топлива для ДВС. ТАЙЛКЭИ. “Йўл транспорт ва муҳандислик коммуникация инфратузилмасини ривожлантириш истиқболлари ” ҳалқаро илмий – техник анжумани. 2017 йил, 24-25 ноябрь, 125 -129 бетлар.

19. Исмаатов Ж.Ф., Аширов В.Р. Водород-как топлива ДВС. ТашДАУ Термиз филиали. Илмий-амалий анжумани. 18-19 май 2018й. 63-64 бетлар.

20. Исмаатов Ж.Ф., Аширов В.Р. Анализ системы питания двигателей работающих водороде. ТашДАУ Термиз филиали. Илмий-амалий анжумани. 18-19 май 2018й. 65-66 бетлар.

21. Исмаатов Ж.Ф., Аширов В.Р. Установка генератор водорода (электролизера) для получения водорода. “Инновацион ғоя ва тежамкор технонологиялар-аграр соҳанинг таянчи”- Тошкент, ТошДАУ, 2018 й. 6-7 декабр, 729-731 бетлар.

22. J. Ismatov, F. Matmurodov, J. Khakimov, J. Djalilov. Analytical modeling of mass transfer dynamics, velocity, heat transfer and enthalpy in a gas-liquid combustible mixture. ETESD-2022 IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 1112 (2022) 012002 IOP Publishing doi:10.1088/1755-1315/1112/1/012002

23. J.F. Ismatov, F.M. Rahmatova, A.A. Ro'ziqulov. Siqilgan gazda ishlaydigan dvigatellarning ekologik ko'rsatkichlari. Проблемы и перспективы инновационной техники и технологий в аграрном-пищевом секторе. // Сборник научных трудов III Международной конференции. 2-том. –Ташкент. ТашГТУ, 2023. 20-21 апреля.-стр. 363-364.

24. Ж.Ф. Исмаатов, С.А. Қодиров. Экологик хавфсиз гибрид автомобилларнинг асосий техник иқтисодий кўрсаткичлари. Сборник материалов. II международной научно-теоретической конференции. «Актуальные вопросы естественных наук». 19 мая, 2021 г. Часть I. Нөкис 2021. Эжинияз атындағы Нөкис мәмлекетлик педагогикалық институты. Стр. 204-208.

25. J.F. Ismatov, X.A. Qurbonov. Dvigatellarda vodoroddan qo'shimcha sifatida foydalanish istiqbollari. «Инновацион техника ва технологияларнинг кишлоқ хўжалиги — озиқ-овқат тармоғидаги муаммо ва истикболлари» мавзусидаги IV Халқаро илмий-техник анжумани илмий ишлар тўплами. 26-27 апрель. Тошкент-2024. 442-443 бетлар.

26. Jumaniyez Ismatov, Javlon Djalilov, Zakirjon Musabekov, Jamshid Khakimov, Abduxalil Ismatov. Improvement of the exploitation performance of light vehicle internal combustion engines by addition of hydrogen fuel. AIP Conf. Proc. 3268, 020054 (2025). <https://doi.org/10.1063/5.0258047>.

27. J. Ismatov, F. Matmurodov, A. Kholikov, A. Abdullaev, J. Djalilov, U. Muhammadiyev. Description by the method of combustion mass transfer of a gasoline-hydrogen-air mixture and reduction of harm to the environment. Intelligent Information Technology and Mathematical Modeling 2021 (ИТММ 2021). Journal of Physics: Conference Series. 2131 (2021) 032067. IOP Publishing doi: 10.1088/1742-6596/2131/3/032067

28. J.F. Ismatov. Dvigatelda benzin havo aralashmasiga ma'lum miqdordagi vodorod qo'shib yoqish natijasida zirhli texnika quvvatini oshirish va bundagi indikator diagrammasini tahlili. O'zbekiston respublikasi mudofaa vazirligi. Chirchiq oliy tank qo'mondonlik muhandislik bilim yurti. Harbiy muhandislarni tayyorlashda umumtexnika fanlarining roli va ahamiyati. Respublika anjumani. Chirchiq 2023. 2023-yil 20-iyun

29. J.F. Ismatov, J.X. Djalilov. Issiqlik dvigatellarining indikator diagrammasini qurish dasturi. Intelektual mulk agentligidan elektron hisoblash mashinalari uchun yaratilgan dasturning rasmiy ro'yxatdan o'tkazilganligi to'g'risidagi guvohnoma. № DGU 22360. Talabnoma kelib tushgan sana: 24.01.2023 y.

30. Kadirov S.M., Ismatov J.F., Djalilov J.X., Ergashyev O.G., Baxriyev A.D. Vodoroddan ichki yonuv dvigatellarida qo'shimcha yonilg'i sifatida foydalanishning issiqlik hisobining bajarishning avtomatlashtirilgan tizimi. Intelektual mulk agentligidan elektron hisoblash mashinalari uchun yaratilgan dasturning rasmiy ro'yxatdan o'tkazilganligi to'g'risidagi guvohnoma № DGU 12973. Sana: 09.11.2021 y.

31. Программа ЭВМ по курсу "Производство двигателей внутреннего сгорания". № DGU 12564. 06.10.2021 y.

32. «Ichki yonuv dvigatellarining ekspluatatsiyasi va sinash» kursi uchun EHM dasturi. № DGU 12562. 06.10.2021 y.

33. Исмаатов Ж.Ф. Улучшение показателей дизельных двигателей путем теплоизоляции. Монография. – Ташкент: Adast poligraf, 2021. – 202 с.

34. J.F. Ismatov, Q.Ch. Jo'rayev. Ichki yonuv dvigatellari uchun vodorod elektrolizorini ishlab chiqish. Monografiya - Termiz, TMTI, 2022.-112 b. ISBN 978-9943-8555-0-2.«Ilm ziyo zakovat» 2022. KBK 87-854.

35. Исмаатов Ж.Ф. Бензин-ҳаво аралашмасига водород бериш орқали энгил автомобилларни эксплуатацион ва экологик кўрсаткичларини яхшилашга оид тавсиянома. Тавсиянома. Тошкент давлат техника университети Кенгашининг 2024 йил 10 октябрдаги 2-сонли мажлисида тасдиқланган ва чоп қилишга тавсия этилган.