

**TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI HUZURIDAGI ILMIY
DARAJALAR BERUVCHI DSc.03/30.12.2019. T.03.04 RAQAMLI ILMIY
KENGASH**

TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI

QURBONOV BEHZOD BAHODIR O‘G‘LI

**DVIGATEL TAQSIMLASH VALI KULACHOK – TURTGICH JUFTLIGI
YEYILISHBARDOSHLIGINI TADQIQ QILISH USLUBIYATINI ISHLAB
CHIQUISH**

05.02.02 – Mexanizmlar va mashinalar nazariyasi. Mashinashunoslik va mashina detallari

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

Toshkent- 2025

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

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

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

Qurbonov Behzod Bahodir o‘g‘li

Dvigatel taqsimlash vali kulachok - turtgich juftligi yeyilishbardoshligini tadqiq qilish
uslubiyatini ishlab chiqish3

Қурбонов Бехзод Баҳодир ўғли

Разработка метода исследования износостойкости кулачково - толкательной пары
распределительного вала двигателя.....23

Qurbonov Behzod Bahodir ugli

Development of a method for studying the wear resistance of the cam and pusher pair of the
Engine camshaft.....43

E‘lon qilingan ishlar ro‘uxati

Список опубликованных работ
List of published works.....47

**TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI HUZURIDAGI ILMIY
DARAJALAR BERUVCHI DSc.03/30.12.2019. T.03.04 RAQAMLI ILMIY
KENGASH**

TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI

QURBONOV BEHZOD BAHODIR O‘G‘LI

**DVIGATEL TAQSIMLASH VALI KULACHOK – TURTGICH JUFTLIGI
YEYILISHBARDOSHLIGINI TADQIQ QILISH USLUBIYATINI ISHLAB
CHIQISH**

05.02.02 – Mexanizmlar va mashinalar nazariyasi. Mashinashunoslik va mashina detallari

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

Toshkent- 2025

Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2025.1.PhD/T3181 raqam bilan ro'yxatga olingan.

Doktorlik dissertatsiyasi Toshkent davlat texnika universitetida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezyume)) Ilmiy kengashning veb-sahifasida (www.tdtu.uz) va "Ziyonet" Axborot ta'lim portalida (www.ziyonet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy rahbar:

Irgashev Amirqul Irgashevich
texnika fanlari doktori, professor

Rasmiy opponentlar :

Axmedov Azamat Xayitovich
texnika fanlari doktori, professor

Po'latov Tohirjon Rustambekovich
texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori,
dotsent

Yetakchi tashkilot:

Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti

Dissertatsiya himoyasi Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti huzuridagi DSc.03/30.12.2019.T.03.04. raqamli Ilmiy kengashning 2025 yil 17 dekabr kuni soat 16⁰⁰ dagi majlisida bo'lib o'tadi. (Manzil: 100095, Toshkent shahri, Universitet ko'chasi, 2-uy. Tel./faks: (99871) 227-10-32, e-mail: tadqiqotchi@tdtu.uz)

Dissertatsiya bilan Toshkent davlat texnika universitetining Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (№ 62 raqami bilan ro'yxatga olingan). (Manzil: 100095, Toshkent shahri, Universitet ko'chasi, 2-uy. Tel.: (99871) 227-10-32.)

Dissertatsiya avtoreferati 2025 yil 04 dekabr kuni tarqatildi.
(2025 yil 04 dekabrda 202 raqamli reestr bayonnomasi).

K.A.Karimov

Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy kengash raisi, texnika fanlari doktori, professor

Sh.B.Tashbulatov

Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy kengash ilmiy kotibi, texnika fanlari doktori, dotsent

A.A.Muxitdinov

Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy kengash qoshidagi ilmiy seminar raisi, texnika fanlari doktori, professor

KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Jahonda dvigatellar konstruksiyasini takomillashtirish, ularning ish samaradorligini oshirish hamda yuqori aniqlikdagi detallar xizmat muddatini uzaytirish masalalariga alohida ahamiyat berilmoqda. Dvigatellarda gaz taqsimlash mexanizmining aniq va barqaror ishlashi, ko'p jihatdan undagi detallarning geometrik aniqligi va yeyilishbardoshligiga bevosita bog'liq. Ushbu yo'nalishda geometrik aniqlikni ta'minlash, yeyilish tezligini kamaytiruvchi konstruktiv hamda texnologik yechimlarni ishlab chiqish, texnik xizmat ko'rsatish xarajatlarini kamaytirish va mahsulotning funksional ishonchliligini oshirish bo'yicha ilmiy tadqiqotlarning dolzarbligi ortib bormoqda. Gaz taqsimlash mexanizmi ish samaradorligini oshirishga qaratilgan ilmiy tadqiqotlar dvigatel umumiy resursini oshirish, bozorni sifatli avtomobil ehtiyot qismlari bilan ta'minlash, qolaversa, import o'rnini bosuvchi yuqori aniqlikdagi mahsulotlar ishlab chiqarish imkonini beradi. Shu bois, dvigatel detallarining yeyilishbardoshligini tadqiq qilish va baholash uslubiyatini ishlab chiqishga dolzarb ilmiy-amaliy vazifa sifatida alohida e'tibor qaratilmoqda.

Jahonda ichki yonuv dvigatellari gaz taqsimlash mexanizmlarining ishonchliligini oshirish va ularning ishqalanish juftliklarida yuz beradigan yeyilish jarayonlarini aniqlashga qaratilgan keng ko'lamli ilmiy-tadqiqotlar olib borilmoqda. Ushbu yo'nalishda, jumladan, taqsimlash valining kulachok–turtgich juftligida yuzaga keladigan kontakt yuklamalari, mikrogeometrik o'zgarishlar va abraziv zarrachalar ta'siri ostida kechadigan yeyilish jarayonlarini ilmiy asoslash bo'yicha tadqiqotlar ustuvor hisoblanmoqda. Shu bilan bir qatorda taqsimlash valining kulachok – turtgich juftligi resursini, namunalar yordamida yeyilishbardoshlikka sinashni tezlashtirish imkoniyatini ishlab chiqish ham dolzarb vazifalardan hisoblanmoqda.

Respublikamizda transport vositalari samaradorligi va ekspluatatsion ishonchliligini oshirish, mashina detallarining aniqligini ta'minlash asosida mashina va mexanizmlarning sifat ko'rsatkichlarini yaxshilash, ularning xizmat muddatlarini uzaytirish bo'yicha keng ko'lamli ilmiy tadqiqot ishlari olib borilib, muayyan natijalarga erishilmoqda. Mazkur jarayonlarni tizimli davom ettirish maqsadida O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yil 28 yanvardagi PF-60-sonli "2022–2026 yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekiston taraqqiyot strategiyasi to'g'risida"gi Farmonida "...milliy iqtisodiyot barqarorligini ta'minlash va yalpi ichki mahsulotda sanoat ulushini oshirishga qaratilgan sanoat siyosatini davom ettirib, sanoat mahsulotlarini ishlab chiqarish hajmini oshirish..."¹ bo'yicha muhim vazifalar belgilab berilgan. Bu borada, jumladan, dvigatel taqsimlash vali kulachok–turtgich juftligining yeyilishbardoshligini tadqiq qilish uslubiyatini ishlab chiqish nafaqat gaz taqsimlash mexanizmining barqaror ishlashini ta'minlash, balki dvigatel resursini oshirish, texnik xizmat ko'rsatish jarayonida yuzaga keladigan nosozliklarni oldindan aniqlash va ularni bartaraf etishning ilmiy asoslangan yechimlarini shakllantirishga xizmat qilishi bilan alohida ahamiyat kasb etadi.

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

O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yil 28 yanvardagi PF-60-sonli “2022-2026 yillarga mo‘ljallangan Yangi O‘zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to‘g‘risida”gi Farmoni, 2018 yil 27 apreldagi PQ-3682-sonli “Innovatsion g‘oyalar, texnologiyalar va loyihalarni amaliy joriy qilish tizimini yanada takomillashtirish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi, 2023 yil 29 martdagi PQ-103-son «Agrar sektorni zamonaviy qishloq xo‘jaligi texnikalari bilan ta‘minlashni rag‘batlantirishning qo‘shimcha chora-tadbirlari to‘g‘risida»gi Qarorlari hamda mazkur faoliyatga tegishli boshqa me‘yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishga ushbu dissertatsiya tadqiqoti muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning Respublika fan va texnologiyalar rivojlanishining ustuvor yo‘nalishlariga mosligi. Mazkur tadqiqot respublika fan va texnologiyalar rivojlanishining II. «Energetika, energiya va resurstejamkorlik» ustuvor yo‘nalishi doirasida bajarilgan va Vazirlar Mahkamasining 2021 yil 24 aprelda tasdiqlangan «Qishloq xo‘jaligining ustuvor yo‘nalishlari, global, mintaqaviy va hududiy muammolarining ilmiy yechimlarini tadqiq qilish bo‘yicha 2022-2026 yillarga mo‘ljallangan dastur» da keltirilgan ustuvor yo‘nalishga mos keladi.

Muammoning o‘rganilganlik darajasi. Dunyo olimlari tomonidan avtotraktorlar dvigatellarining ishonchligini ta‘minlash, texnik xizmat ko‘rsatish va ta‘mirlash tizimini takomillashtirish yo‘nalishida samarali tadqiqotlar olib borilgan va muayyan natijalarga erishilgan. Jahonning yetakchi ilmiy-tadqiqot markazlari va oliy ta‘lim muassasalarida dvigatellar gaz taqsimlash mexanizmining ish faoliyatini takomillashtirish, ularning texnik holatini baholash, yeyilish natijasida sodir bo‘ladigan nosozliklarni aniqlash hamda detallarning texnik resursini prognozlashga bo‘yicha keng qamrovli izlanishlar olib borilgan. Xususan, xorijlik olimlardan K. Shimizu, S. V. Kamkin, M. Karamish, I. V. Voznitskiy, M. Hafiz, G. A. Konks, L. Cveticanin Z. Stanik, B.Lazarz, S. Juliano, J. A. Escobar, C. Coelho, V. Paradorn, J. Kim, S. Lee, S.P. Lindholm, Y. Takeda, T. Venkatesh, H. Manjunath, Y. Meng kabi tadqiqotchilar dvigatel gaz taqsimlash mexanizmi uzellarida kechadigan yeyilish jarayonlarini tadqiq qilish, ulardagi yeyilishbardoshlikni tashxislash, abraziv zarrachalar konsentratsiyasini baholash va yuza g‘adir-budirliklarini hisoblash ga oid qator ilmiy ishlarni amalga oshirishgan. Shuningdek, Rossiya va MDH olimlari orasida S.A.Viktorovich, V.N. Kucherov, Y.A. Kamkin, I.V. Voznitiskiy, V.F. Timoshenko, P.V. Stepurin, Y.B. Agyeva, G.A. Timofev, I.N. Chernishova kabi tadqiqotchilar dvigatel gaz taqsimlash mexanizmidagi nosozliklar sabablarini tahlil qilish, ularni oldini olish va ishlash barqarorligini ta‘minlashga oid qator ilmiy ishlarni amalga oshirishgan.

Mashina va mexanizmlar nazariyasi bo‘yicha olib borilgan tadqiqotlar ham ushbu sohaning rivojlanishida muhim o‘rin tutadi. Bu yo‘nalishda xorijiy olimlardan I.I. Artobolevskiy, R.L. Norton, C.S. Hsiao, A. P. Butenko, V.N. Kudrjavitsev, M. Koenigsberger, F.P. Bowden, K. Ludema va boshqalar mashinasozlik nazariyasi, mexanik tizimlar dinamikasi va ularni matematik modellashtirish bo‘yicha yirik ilmiy natijalarga erishganlar. O‘zbekistonlik olimlar ham ushbu yo‘nalishda salmoqli hissalarini qo‘shganlar. Jumladan, U.A. Ikromov, A.I. Irgashev, A.J. Juraev, Sh.A. Shoobidov, R.I. Karimov, K.A. Karimov, Q.H. Mahkamov, T.R. Po‘latov X.I.

Ishmuratov, N.N. Mirzaev, A.X. Ahmedov, R.E. Shaxobutdinov va boshqa olimlarning ilmiy ishlarida gaz taqsimlash mexanizmi uzellarida kechadigan yeyilishning turlari, sabablari, belgilari va yeyilishning oqibati sifatida ko'riladigan dvigateldagi nosozliklar hamda detallarining muddatidan oldin ishdan chiqishi sabablari o'rganilib, buni oldini olish va ishdan chiqqan detallarni qayta tiklash masalalarini yechishda salmoqli natijalarga erishilgan.

Adabiyotlar tahliliga ko'ra, hozirgi kunga qadar dvigatellarining ishlash samaradorligini oshirish, gaz taqsimlash mexanizmi uzellarining resursini baholash hamda nosozliklarni pragnozlash bo'yicha olib borilgan tadqiqotlarga qaramay, hali ham to'liq yechimini topmagan masalalar mavjud. Jumladan, gaz taqsimlash mexanizmining kulachok-turtgich juftligi yeyilishbardoshligini tadqiq qilish orqali dvigatel taqsimlash validagi yeyilish jarayonlarini sinashning tezlashtirilgan va optimal usulini ishlab chiqish respublikamizning texnik va texnologik taraqqiyotida muhim ilmiy va amaliy ahamiyatga ega.

Dissertatsiya mavzusining dissertatsiya bajarilgan oliy ta'lim muassasining ilmiy-tadqiqot rejalari bilan bog'liqligi. Dissertatsiya tadqiqoti Toshkent davlat texnika universiteti №15-004 «Mashina va mexanizmlarni kuch uzatish agregatlari detallarining texnik holatini, ularni bo'laklarga ajratmasdan zudlik bilan diagnostika qilish» (2009-2012), №F-2-27 «Mobil mashinalarni va sanoat uskunalari agregatlarining tishli uzatmalarining yeyilish bardoshligini oshirishning ilmiy asoslarini ishlab chiqish» (2012-2016) mavzularida fundamental va amaliy loyihalari asosida hamda ToshDTU «Xizmat ko'rsatish texnikasi» kafedrasining ilmiy-tadqiqot rejasiga (2021-2025 y.y.) muvofiq bajarilgan.

Tadqiqotning maqsadi - avtotraktor ichki yonuv dvigateli gaz taqsimlash vali kulachogining yeyilishbardoshlikka sinashni tezlashtirish imkonini beruvchi uslubiyatni ishlab chiqishdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari:

avtotraktor dvigateli gaz taqsimlash mexanizmi detallarni yeyilish natijasida sodir bo'ladigan nosozliklarni sodir bo'lish sabablarini aniqlash va tahlil qilish orqali dissertatsiya mavzusini asoslash;

gaz taqsimlash vali kulachoklarining yeyilishbardoshligiga ta'sir etuvchi ko'rsatgichlarni tadqiq qilish;

kulachok profilini yeyilish jarayonida ishtirok etuvchi, motor moyi tarkibidagi abraziv zarrachalarning miqdorini va o'lchamini, ishqalanish sirtlaning g'adir-budurlik ko'rsatgichlarini aniqlashga qaratilgan nazariy tadqiqotlar olib borish;

gaz taqsimlash vali kulachoklarining profilini motor moyi tarkibidagi abraziv zarrachalar ishtirokida va ularning ishtirokisiz, ishqalanish sirti g'adir-budurliklari ta'sirida sodir bo'ladigan yeyilish jarayonlarning tezligini hisoblash bo'yicha nazariy tadqiqotlar o'tkazish;

kulachok profili va turtgich gilzasidan iborat bo'lgan juftlikning ishqalanish jarayonini namunalar bilan modellashtirish va yeyilishbardoshlikka sinashni tezlashtirish imkoniyatini beruvchi uslubiyatni ishlab chiqish va tajriba tadqiqotlarini o'tkazish;

tadqiqot natijalarining iqtisodiy samaradorligini baholash.

Tadqiqot ob'ekti sifatida D-240 ichki yonuv dvigateli gaz taqsimlash vallarining kiritish va chiqarish kulachoklari olingan.

Tadqiqotning predmetini D-240 ichki yonuv dvigateli gaz taqsimlash vallarining kiritish va chiqarish kulachoklarining yeyilishbardoshlikka sinashni tezlashtiruvchi uslubiyatini ishlab chiqish tashkil etgan.

Tadqiqot usullari. Tadqiqot jarayonida geometrik–analitik modellashtirish usuli, MI-1M turdagi tribologik stenda ishqalanish jarayonini modellashtirish usuli, abraziv zarrachalar ta'sirini aniqlovchi fraksiyalangan sinovlar usuli, material namunalarida tezlashtirilgan kontakt sinovlari usuli, mikroqattqlik o'lchovi usuli, Archard yeyilish modeli asosida yeyilish miqdorini aniqlash usuli, shuningdek statistik tahlil va regression modellashtirish kabi usullardan foydalanilgan.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

gaz taqsimlash vali kulachok profillari va turtgich gilzasidan iborat bo'lgan ishqalanish juftligining yeyilishbardoshligiga ta'sir ko'rsatuvchi, ular o'rtasidagi tutashuv dog'ining kengligini va maydonini tutashuv yuklamasiga bog'liqligini hisoblash imkonini beruvchi analitik bog'lanishlar keltirib chiqarilgan;

kulachok profilining ishlatish davrida sodir bo'ladigan yeyilish jarayolari abraziv zarrachalar ishtirokida va ularning ishtirokisiz sodir bo'lib, moy tarkibida abraziv zarrachalar bo'lmaganda, yeyilish faqat ishqalanish sirtlari g'adir-budurliklarining o'zaro ta'siri orqali sodir bo'lishi ko'rsatilgan;

kiritish va chiqarish kulachoklari profili ishqalanish sirtining muvozanatlashgan g'adir-budurlikni klapan prujinasini deformatsiyalovchi kuchga, kulachok va turtgich juftligidagi tutashuv kengligiga va maydoniga nisbatan o'zgarish qonuniyatlari aniqlangan;

Kulachok profili va kulachok profilining egrilik radiusi asosida yasalgan namunalarning yeyilish tezligi o'rtasidagi bog'liqlikni ifodalovchi regression model ishlab chiqilgan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

taqsimlash vali kiritish va chiqarish kulachogi profilining yeyilish sohasiga nisbatan geometrik parameterlarini hisoblash usuli ishlab chiqilgan;

kiritish va chiqarish kulachoklari profilining yeyilish sohalari na'munalarini modellashtirish texnologiyasi ishlab chiqilgan

kiritish va chiqarish kulachoklari profilining yeyilish sohalari modellashtirilgan namunalarning yeyilishga sinashni tezlashtirish koeffitsentlarining umumiy qiymati aniqlangan;

Kulachok sirtidagi yeyilish tezligini kulachok holati bo'yicha yasalgan namunalar orqali, kulachok profiliga nisbatatan 19,5 dan 821,5 martagacha oshirish mumkinligi asoslangan.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi. Tadqiqot natijalarining ishonchliligi, zamonaviy tadqiqot uslub va vositalarning va kompyuter dasturlarining qo'llanilganligi va yaratilganligi, kiritish va chiqarish kulachoklari va turtgich gilzasidan iborat bo'lgan ishqalanish juftligining yeyilishbardoshligini texnik xizmat ko'rsatish va joriy ta'mirlash orqali oshirishga qaratilgan nazariy va amaliy tadqiqotlarining natijalarini qiyosiy tahlil qilinganligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati. Tadqiqotning ilmiy ahamiyati taqsimlash valining kiritish va chiqarish kulachoklari profillarida abraziv zarrachalar ishtirokidagi va ishtirokisiz kechadigan yeyilish jarayonlarini baholashga imkon beruvchi uslubiyat ishlab chiqilgani va ushbu uslubiyat orqali kulachok profili va turtgich gilzasi orasidagi kontakt kegliligi, tutashuv dog'ining maydoni, sirt g'adirbudurligi hamda abraziv zarrachalarning ta'sir ko'rsatkichlari aniqlangani, natijada ishqalanish juftligida sodir bo'ladigan yeyilish mexanizmlarini ilmiy asosda baholash imkoniyatining kengaygani bilan izohlanadi.

Tadqiqotning amaliy ahamiyati kulachok–turtgich ishqalanish juftligini rolikli analoglar yordamida modellashtirish orqali sinov jarayonini sezilarli tezlashtirish imkoniyati yaratilgani bilan izohlanadi

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. Dvigatel taqsimlash vali kulachok – turtgich juftligining yeyilishbardoshligini tadqiq etish uslubiyatini ishlab chiqish va tadqiq etish bo'yicha olingan ilmiy natijalar asosida:

avtotraktor ichki yonuv dvigateli gaz taqsimlash vali kulachoklarini yeyilishbardoshlikka sinashni tezlashtirish imkonini beruvchi uslubiyatni "O'ZAGROSERVIS" AJ ga qarashli "Surxondaryo Agroservis MTP" MCHJda amaliyotga joriy qilingan ("O'ZAGROSERVIS" AJ 2023 yil 4 dekabrda 09-03/102-1180 son ma'lumotnomasi). Natijada kulachok profilini yeyilishga sinash namunalarda olib borilishi bir juft namunalarni sinashdagi ish hajmini 287,4 marta tezlashtirish imkonini bergan;

dvigateli gaz taqsimlash vali kulachoklarini yeyilishbardoshlikka sinash ishlari olib borildi. "Surxondaryo Agroservis MTP" MCHJ da amaliyotga joriy qilingan ("O'ZAGROSERVIS" AJ 2023 yil 4 dekabrda 09-03/102-1180 son ma'lumotnomasi). Natijada tashxislash va 2-TXK o'tkazish, dvigatelda olib borilganda 250 soatni, sinash namunalarda olib borilganda esa ushbu hajmdagi sinov ishlarini bajarish uchun 32,7 soat sarflanishi hisobiga sinov muddatini 7,65 marta qisqartirish imkonini bergan;

Kulachok profili va turtgich gilzasi orasidagi tutashuv dog'i maydoni, sirt mikrogeometriyasi hamda moydagi abraziv zarrachalar konsentratsiyasiga asoslangan yeyilish tezligini prognozlash mezonlari "Surxondaryo Agroservis MTP" MCHJda amaliyotga joriy qilingan ("O'ZAGROSERVIS" AJ 2023 yil 4 dekabrda 09-03/102-1180-son ma'lumotnomasi). Natijada kulachoklarni baholash va qayta tiklash bo'yicha qaror qabul qilish aniqligi oshirilib, qayta tiklangan kulachoklarning takroriy yeyilish tezligini 18–22 % ga kamaytirish imkonini bergan;

Tadqiqotdan kelib chiqqan texnologik tavsiyalar va sinov-diagnostik uslubiyatlar "Surxondaryo Agroservis MTP" MCHJning texnik xizmat ko'rsatish amaliyotiga tizimli tatbiq etildi ("O'ZAGROSERVIS" AJ 2023 yil 4 dekabrda 09-03/102-1180 son ma'lumotnomasi). Natijada kutilayotgan yillik iqtisodiy samara 139 344 000 (bir yuz o'ttiz to'qqiz million uch yuz qirq to'rt ming) so'mni tashkil etgan.

Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi. Mazkur tadqiqot natijalari 4 ta xalqaro va 6 ta respublika ilmiy-amliy anjumanlarida muhokamadan o'tkazilgan.

Tadqiqot natijalarining e'lon qilinganligi. Dissertatsiya mavzusi bo'yicha ja'mi 20 ta ilmiy ish chop etilgan bo'lib, O'zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya

kommissiyasi tomonidan dissertatsiyaning asosiy ilmiy natijalarini chop etilishi tavsiya qilingan ilmiy nashrlarda 8 ta maqola, jumladan, 4 tasi respublika va 4 tasi xorijiy jurnallarda chop etilgan.

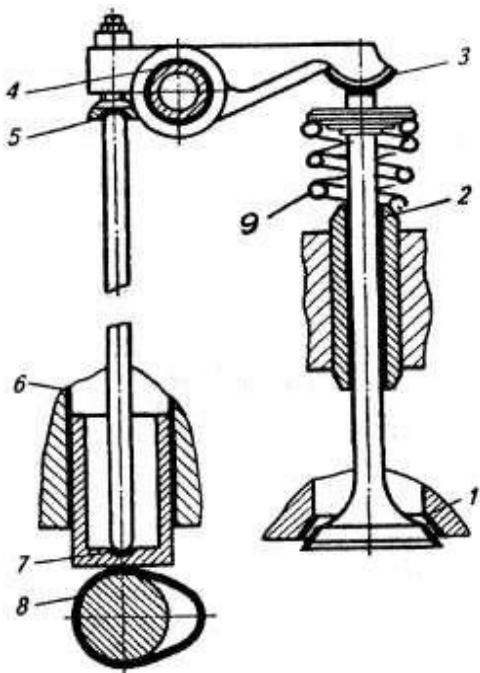
Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi. Dissertatsiya tarkibi kirish, to‘rtta bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati va ilovalardan iborat. Dissertatsiyaning hajmi 118 betni tashkil etgan.

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Kirish qismida o‘tkazilgan tadqiqotning dolzarbligi va talabi, tadqiqotning maqsadi va vazifalari, ob‘ekt va predmet xarakterlashtirilishi, tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo‘nalishlariga mosligi ko‘rsatilgan, tadqiqotning ilmiy yangiligi va asosiy natijalari bayon qilingan, olingan natijalarning ishonchliligi asoslangan, olingan nazariy va amaliy ahamiyati ochib berilgan, tadqiqot natijalarini amaliyotga joriy qilish, nashr etilgan ishlar va dissertatsiya tuzilishi bo‘yicha ma‘lumotlar keltirilgan.

Dissertatsiyaning **“Mashinalardan foydalanish davrida gaz taqsimlash mexanizmi detallarini yaroqsiz holatga olib keluvchi omillarni tadqiq etilganligi”** deb nomlangan birinchi bobida dvigatelning gaz taqsimlash mexanizmi uzellarida sodir bo‘ladigan nosozliklarning o‘rganilganligi, gaz taqsimlash mexanizmi uzellaridagi yeyilish jarayonlarini tadqiq qilish, gaz taqsimlash mexanizmi detallarining yeyilishbardoshligiga ta‘sir etuvchi omillarning tahlili va shu bilan bir qatorda ilmiy adabiyotlar tahlilidan kelib chiqqan holda ham gaz taqsimlash mexanizmi uzellarining ishlash prinsipi, ularda paydo bo‘ladigan nosozliklar va resursini baholash bo‘yicha asosli ma‘lumotlar keltirilgan.

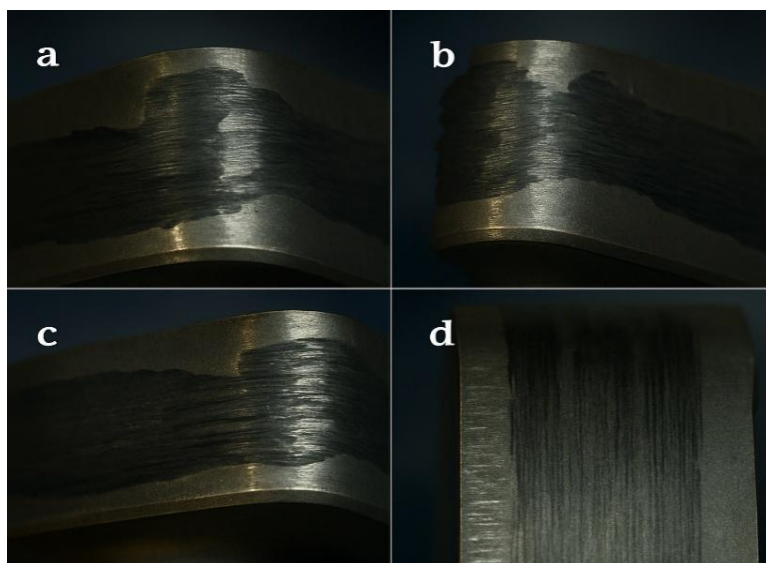
Adabiyotlarni tahlil qilishdan olingan ma‘lumotlarga ko‘ra gaz taqsimlash mexanizmida yeyilish natijasida yuzaga keladigan nosozliklarning, 38 % aynan shu juftlikka to‘g‘ri keladi. Shu sababli ham taqsimlash valining kulachok – turtgich juftligi resursini va ishlash ravonligini, moydagi abraziv zarrachalar konsentratsiyasini va sirdagi g‘adir budirliklar koeffitsientini optimallashtirish dolzarb vazifa hisoblanadi va albatta bu detallarning sirtlaridagi yeyilish, ularda kechadigan yeyilish turlariga, ilashmadagi detallarning kimyoviy xususiyatiga va boshqa ba‘zi omillarga ko‘ra turlicha kechadi.



- 1 – o‘rindiqliklapan faskasi; 2 – klapan sterjeni-yo‘naltiruvchi vtulka; 3 – koromislo yotoq yuzasi - klapan yonboshi ; 4 – koromislo vtulkasi-o‘q; 5 – sozlash vintishtanga; 6 – turtgich-blok; 7 – shtanga-turtgich; 8 – kulachok-turtgich;
- 9 – prujina.

1– rasm. Gaz taqsimlash mexanizmining yeyilish sodir bo‘luvchi bo‘g‘inlarining sxemasi.

Kulachok-turtgich juftligining harakatlanishi natijasida eng yuqori yeyilish kulachokning klapan ochilish vaqtida harakatni ta'minlab beruvchi sohasida kuzatiladi (2.c-rasm). Yopilish zonasidagi yeyilish darajalari ochilish qiyaliklariga nisbatan kichikroq bo'lgan (2.b-rasm). Kallak qismi yuzasida o'rta miqdordagi chuqurchali yeyilish hosil bo'ladi (2.a-rasm). Eng kichik yeyilish esa aylana(silindrik) zonada aniqlangan(2.d-rasm). Kulachok – turtgich juftligining ilashishi natijasida kulachokning profil qismida yuzaga keluvchi 0.25 mm miqdordagi yeyilish klapaning ishlashidagi belgilangan vaqtga 3 gradusgacha salbiy ta'sir ko'rsatadi. Ushbu yeyilish boshqa muammolar qatorida divigvtelning ot kuchi va yoqilg'i tejamkorligiga salbiy ta'sir qiladi.



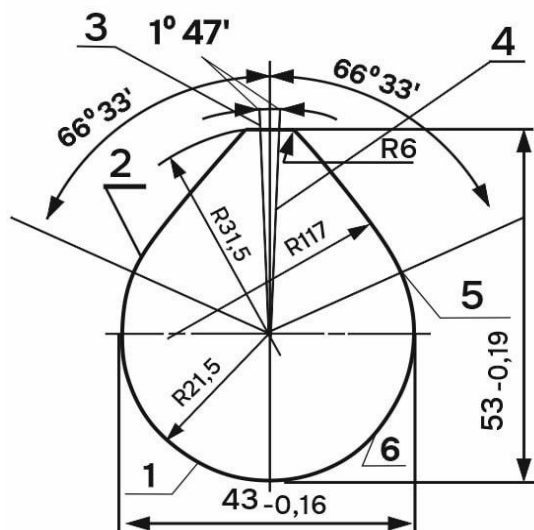
a-kulachok kallak qismidagi yeyilish, *b*-kulachokning klapan yopilish holatidagi yeyilishi, *c*-kulachokning klapan ochilish holatidagi yeyilishi, *d*-aylana holatdagi yeyilishi
2 – rasm. Kulachok profilidagi yeyilishning sohalar bo'yicha ko'rinishi

Gaz taqsimlash mexanizmining dumalab ishqalanuvchi uzellari detallarining normal ish faoliyatining izidan chiqishiga asosiy sabablardan biri sifatida ishchi muhitda kechadigan abraziv zarrachalar ishtirokidagi yeyilish jarayoni ko'riladi.

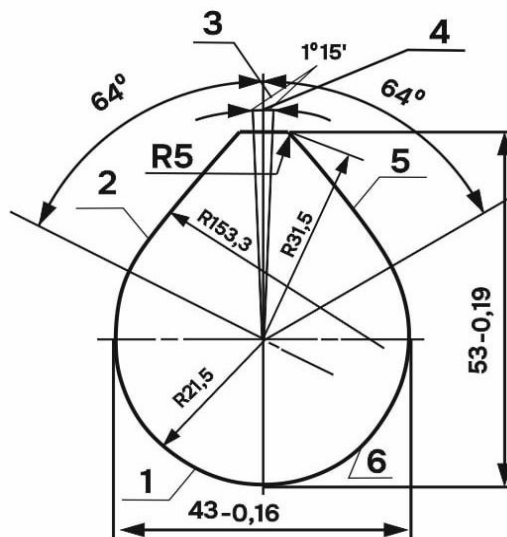
“Kulachok va turtkichdan iborat ishqalanish juftligining yeyilishbardoshligiga ta'sir ko'rsatuvchi parametrlarni asoslash” deb nomlangan ikkinchi bobida dvigatel gaz taqsimlash mexanizmi uzellarida sodir bo'ladigan nosozliklar bo'yicha tadqiqot mavzusini asoslash, gaz taqsimlash vali kulachoklari va turtgichlarining o'zaro tutashuvi va kulachok profilining geometrik ko'rsatkichlari, shu bilan birga kulachok va turtkich gilzasi ishqalanish juftligining tutashuv kengligini va tutashuv maydonini hisoblash nazariy jihatdan aniqlangan.

Dvigatelning kiritish va chiqarish kulachoklarining profili 6 xarakterli holatlardan iborat (3,4-rasmlar). Kulachok profili 1 va 6 holatlatlarda, o'zgarmas egrilik radiusiga ega bo'lib, uning markazi kulachokning aylanish markaziga to'g'ri keladi, unda kulachok va turtgich gilzasidan iborat bo'lgan ishqalanish juftligi o'zgarmas, eng kichik yuklamani qabul qiladi. Kulachok profilining 2 va 5 holatlari o'zgarmas egrilik

radiuslari bilan xarakterlanib, uning markazi kulachokning aylanish markazidan tashqarida joylashgan. Ushbu holatda klapan prujinasining vertikal deformatsiyasi sodir bo'lganligi sababli kulachok profilining har bir tutashuv nuqtasiga o'zgaruvchan yuklama to'g'ri keladi.

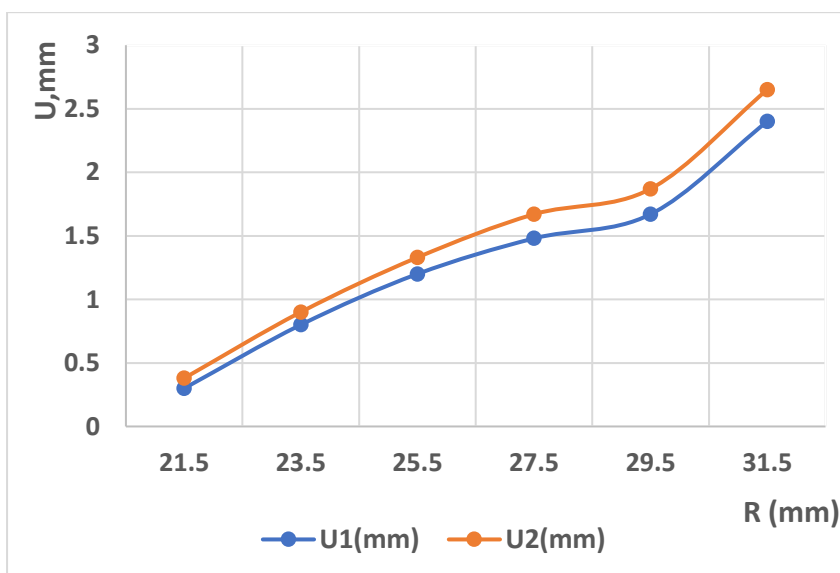


3 – rasm. Kiritish kulachogi xarakterli qismlarining joylashish sxemasi



4 – rasm. Chiqarish kulachogi xarakterli qismlarining joylashish sxemasi

Kulachokning profilining sohalar bo'yicha egrilik radiusiga nisbatan uning yeyilish miqdorini mikrometraj natijasida o'lchangan qiymatlari bo'yicha o'zgarishi 5- rasmdagi grafik orqali ko'rsatilgan.



U1-kiritish kulachogi uchun; U2-chiqarish kulachogi uchun.

5 – rasm. Gaz taqsimlash vali kulachoklari profilining yeyilish miqdorini kulachok profillarining egrilik radiusiga nisbatan o'zgarish grafigi

Kulachok profillarining egrilik radiusining eng katta qiymati, 31,5 mm bo‘lganda, porshenning holati silindrning yuqori o‘lik nuqtasiga to‘g‘ri keldi. Shu bilan birga kulachok profili va turtgich gilzasiga ta’sir etuvchi kuchning miqdoriga bog‘liq holda kulachok profillarining yeyilish miqdori silindrik qismiga nisbatan 8 martadan yuqoriroq qiymatga ega ekanligi aniqlandi.

Kiritish va chiqarish kulachoklari profillari uzunliklari tahlil qilinganda, ularning uzunligidagi farq kiritish kulachogi profilining uzunligi chiqarish kulachogi profilining uzunligidan 21,880 mm ga uzun ekanligi aniqlandi.

1 – jadval

Kulachok profilining umumiy uzunligini hisoblash va uni tahlil qilish

Kulachok sohasi	Kiritish kulachogi			Chiqarish kulachogi			Kulachok profillari uzunliklaridagi farq, mm
	Kulachokning qamrov burchagi, grad.	Kulachok radiusi, mm	Kulachok profili uzunligi, mm	Kulachokning qamrov burchagi, grad.	Kulachok radiusi, mm	Kulachok profili uzunligi, mm	
1	116,00	21,5	13,856	113,45	21,5	13,550	0,306
2	62,75	153,3	53,440	65,00	117,0	42,752	10,688
3	1,25	31,50	0,218	1,55	56,18	0,272	-0,054
4	1,25	31,50	0,218	1,55	56,18	0,272	-0,054
5	62,75	153,3	53,440	65,00	117,0	42,752	10,688
6	116,00	21,5	13,856	113,45	21,5	13,550	0,306
Kulachok profilining umumiy uzunligi, mm			135,028	Kulachok profili-ning umumiy uzunligi, mm		113,148	21,880

1 – jadvalda keltirilgan ma’lumotlarga muvofiq kirituvchi va chiqaruvchi kulachok profilarning holatlari bo‘yicha uzunliklaridagi farq bir xil emas. Kulachoklarning 1, 2, 4 va 6 – holatlarda kiritish kulachogining profili chiqarish kulachogining uzunligidan katta bo‘lib, kiritish kulachogi profili uzunligini 1, 6 holat uzunligi 0,02% ni, 2, 5 holat uzunligining 7,92% tashkil qilishini ko‘rsatdi.

Kulachok va turtkich gilzasi ishqalanish juftligining tutashuv kengligini va tutashuv maydonini konussimon rolikli dumalash podshipnik halqalari va roligi o‘rtasida sof dumalash bo‘lganda keltirilgan tutashuv kengligini hisoblash ifodasi asos bo‘lib xizmat qildi:

$$B_i = \frac{3,04 \cdot \sqrt{P_y \cdot \rho_{kel.i} \cdot (1 - \mu^2)}}{\sqrt{l_r \cdot \cos \alpha \cdot E_{kel}}}, mm \quad (1)$$

bunda μ - Puasson koeffitsiyeni; P_y - podshipnikning birgina roligi tomonidan podshipnikning ichki va tashqi halqalarga ta’sir ko‘rsatuvchi normal yuklama; $\rho_{kel.i}$ - ichki halqa va podshipnik roligining keltirilgan radiusi; l_r - podshipnik roligining uzunligi; E_{kel} - keltirilgan elastiklik moduli. Ushbu ifodan ishqalanish juftlari o‘rtasida chiziqli tutashuv bo‘lgan hollarda foydalanish mumkin.

Dissertatsiyaning “Gaz taqsimlash vali kulachoklarining yeyilishbardoshligini va yeyilishbardoshlikka ta’sir ko‘rsatuvchi omillarni tadqiq

qilish” deb nomlangan uchinchi bobida gaz taqsimlash vali kulachoklari profilining abraziv zarrachalar ishtirokidagi yeyilish tezligi va kulachoklarining yeyilishbardoshligi hisoblangan hamda kulachok profilini yeyilish jarayonida ishtirok etuvchi g’adir-budurliklarining ko’rsatgichlarini va motor moyidagi abraziv zarrachalarning o’lchami va miqdori nazariy tadqiq qilingan.

Yeyilish jarayonida ishtirok etuvchi kiritish va chiqarish kulachoklari moylovchi material tarkibida abraziv zarrachalar mavjud bo’lganda, yeyilish tezligini hisoblash uchun quyidagi ifodalar hosil qilingan:

kiritish kulachogining yeyilish tezligi,

$$\gamma_{a(k)} = \frac{10,29 \cdot d_{or}^2 \cdot \sigma_a \cdot G_k \cdot n_k \cdot \varepsilon_k \cdot \gamma_a \cdot k_v}{H_k \cdot n_{p.k} \cdot B_k \cdot \gamma_m}, \quad (4)$$

chiqarish kulachogining yeyilish tezligi,

$$\gamma_{a(ch)} = \frac{10,29 \cdot d_{or}^2 \cdot \sigma_a \cdot G_{ch} \cdot n_{ch} \cdot \varepsilon_k \cdot \gamma_a \cdot k_v}{H_{ch} \cdot n_{p.ch} \cdot B_{ch} \cdot \gamma_m}. \quad (5)$$

Tarkibida abraziv zarrachalar bo’lgan motor moyida ishlovchi kiritish va chiqarish kulachoklarining yeyilish tezligining qiymatlari quyidagi dastlabki ma’lumotlar asosida hisoblangan: yeyilish jarayonida ishtirok etuvchi abraziv zarrachalarning o’rtacha o’lchami $d_{or}=0,012$ mm; abraziv zarrachani siqishga mustahkamligi $\sigma_a=103,9$ MPa; abraziv zarrachalarning siqilishga mustahkamligi va kiritish kulachogi materialining qattiqligini o’rtasidagi bog’liqlik koeffitsiyenti $G_k=1,968$; abraziv zarrachalarning siqilishga mustahkamligi va chiqarish kulachogi materialining qattiqligini o’rtasidagi bog’liqlik koeffitsiyenti $G_{ch}=1,984$; kiritish (chiqarish) kulachogining aylanishlar chastotasi $n_k = 20c^{-1}$; motor moyidagi abraziv zarrachalarning miqdori $\varepsilon_k=0,2\%$; $0,3\%$; $0,4\%$; $0,5\%$; $0,6\%$; abraziv zarrachaning zichligi $n_k=1,9$ g/sm³; abraziv zarrachaning shaklini hisobga oluvchi koeffitsiyent $k_v=1,003$; kiritish kulachogi materialining $\gamma_a=1,9$ g/sm qattiqligi $H_k=610$ MPa; chiqarish kulachogi materialining qattiqligi $H_{ch}=600$ MPa; kiritish kulachogi deformatsiyalangan ishqalanish sirtini buzilishga olib keluvchi qayta deformatsiyalanishlar soni $n_{p.k}=24,0$; chiqarish kulachogi deformatsiyalangan ishqalanish sirtini buzilishga olib keluvchi qayta deformatsiyalanishlar soni $n_{p.ch}=22,3$; motor moyining zichligi $\gamma_m=0,91$ G/sm³.

Kiritish va chiqarish kulachogi profillarining yeyilishbardoshligini ta’minlovchi moydagi abraziv zarrachalarning miqdorini hisoblash ifodasi, kulachok profilini ruxsat etilgan chegaraviy yeyilish miqdori U_{ch} , abraziv zarrachalar ishtirokidagi yeyilish miqdori U_{ish} va abraziv zarrachalar ishtirokisiz yeyilish miqdori U_{is} larni inobatga olgan holda quyidagicha keltirilgan

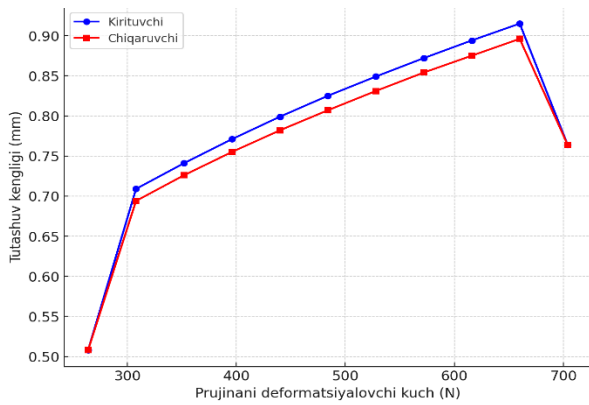
$$\varepsilon_{k(k,\chi)} = \frac{(U_{ch(k,ch)} - U_{is(k,ch)}) \cdot H_{k,ch} \cdot n_{p,k,ch} \cdot B_{k,ch} \cdot \gamma_m}{10,29 \cdot P \cdot d_{or}^2 \cdot \sigma_a \cdot G_{k,ch} \cdot n_{k,ch} \cdot \gamma_a \cdot k_v} \quad (6)$$

Kiritish kulachogi profilini abraziv zarrachalar ishtirokidagi yeyilish tezligini kulachok profili va turtgich gilzasning tutashuv kengligiga va moydagi abraziv zarrachalarning miqdoriga nisbatan o‘zgarishi

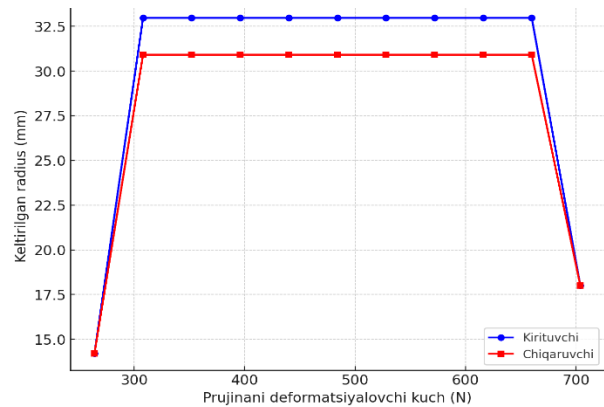
Kulachok profilining holati	Tutashuv kengligi, mm	Moydagi abraziv zarrachalarning miqdori ϵ_k ,				
		0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
		Yeyilish tezligi mm/soat				
1	0,508	0,000347	0,000520	0,000694	0,000867	0,001041
2	0,709	0,000244	0,000366	0,000488	0,000610	0,000732
	0,741	0,000234	0,000351	0,000468	0,000585	0,000702
	0,771	0,000224	0,000336	0,000448	0,000560	0,000672
	0,799	0,000217	0,000326	0,000434	0,000543	0,000651
	0,825	0,000210	0,000315	0,000420	0,000525	0,000630
	0,849	0,000204	0,000306	0,000408	0,000510	0,000612
	0,872	0,000199	0,000298	0,000398	0,000498	0,000597
	0,894	0,000194	0,000291	0,000388	0,000485	0,000582
	0,915	0,000189	0,000284	0,000378	0,000473	0,000567
3	0,764	0,000227	0,000340	0,000454	0,000568	0,000681
4	0,764	0,000227	0,000340	0,000454	0,000568	0,000681
5	0,915	0,000189	0,000284	0,000378	0,000473	0,000567
	0,894	0,000194	0,000291	0,000388	0,000485	0,000582
	0,872	0,000199	0,000298	0,000398	0,000498	0,000597
	0,849	0,000204	0,000306	0,000408	0,000510	0,000612
	0,825	0,000210	0,000326	0,000434	0,000543	0,000651
	0,799	0,000217	0,000326	0,000434	0,000543	0,000651
	0,771	0,000224	0,000336	0,000448	0,000560	0,000672
	0,741	0,000234	0,000351	0,000468	0,000585	0,000702
	0,709	0,000244	0,000366	0,000488	0,000610	0,000732
6	0,508	0,000347	0,000520	0,000694	0,000867	0,001041

Kiritish va chiqarish kulachoklari profilini abraziv zarrachalar ishtirokida sodir bo‘ladigan yeyilish tezligini kulachok profilining 6 xarakterli qismlari uchun tahlil qilamiz. Kulachok profillarining 3 va 4 – qismlarini yeyilish jarayoni kulachok profilining egrilik radiusi 31,5 mm ni tashkil etgan sohasida sodir bo‘ldi, ularning yeyilish tezligi kiritish kulachok profilining 2-qismining oxirgi holatiga nisbatan 1,17 martaga, chiqarish kulachogida esa 1,20 martaga yuqori ekanligini ko‘rsatdi.

Kulachok sirtidagi yeyilishning miqdorini baholashda, Kulachokning turtgich bilan ilashmadagi tutashuv kengligining va keltirilgan egrilik radiusining prujinani deformatsiyalovchi kuchga bog‘liqligini o‘rganish muhim omillardan biri hisoblanadi. Tutashuv kengligini hisoblash uchun ishlab chiqilgan formula asosida jadval ko‘rinishida olingan natijalar yordamida ushbu kattaliklarning bog‘liqlik grafiklari tuzilgan. O‘z navbatida kiritish va chiqarish kulachoklari uchun bu bog‘liqliklar turlicha bo‘ladi(6,7-rasmlar).



6 – rasm. Prujinani deformatsiyalovchi kuch va tutashuv kengligi o‘rtasidagi bog‘lanish



7 – rasm. Prujinani deformatsiyalovchi kuch va keltirilgan radius o‘rtasidagi bog‘lanish

Yuqorida keltirilgan 6 rasmdagi grafikdan ko‘rish mumkinki, prujinani deformatsiyalovchi kuchning qiymati 660 N bo‘lganda kiritish va chiqarish kulachoklari uchun tutashuv kengligining qiymati mos ravishda 0,915 mm² va 0,896 mm² ni tashkil etadi.

Dissertatsiyaning **“Kulachok profilining yeyilishbardoshligini eksperimental tadqiq qilish va resursini oshirishdan olingan iqtisodiy samaradorlikni aniqlash”** deb nomlangan to‘rtinchi bobida kulachok profili va turtgich gilzasidan iborat bo‘lgan juftlikning ishqalanishini namunalar orqali modellashtirish, modellashtirilgan namunalarning o‘lchamini asoslash, yeyilishbardoshligini namunalar yordamida tadqiq qilish hamda yeyilishbardoshlikka sinash muddati asosida aniqlangan iqtisodiy samaradorlikni baholash ishlari olib borilgan.

Sinashni tezlashtirish koeffitsiyentining umumiy qiymati K_i , ishqalanish mashinasida sinalagan namunaning aylanishlar chastotasini taqsimlash vali kulachogining aylanishlar chastotasiga nisbati K_n ning , ishqalanish mashinasi moydagi abraziv zarrachalarning miqdorini ishlatish sharoitida foydalaniladigan dvigatel karteri moyidagi abraziv zarracha miqdori K_a ga va kulachak profilining umumiy uzunligini kulachok profili holatning uzunligiga nisbati K_p larining ko‘paytmasidan aniqlandi.

U holda sinashni tezlashtirish koeffitsiyentining umumiy qiymati quyidagicha ifodalanadi.

$$K_i = K_n \cdot K_a \cdot K_p$$

Ishqalanish mashinasidagi namunaning aylanish chastotasi, taqsimlash vali kulachogining aylanishlar chastotasidan pastligi sababli uning qiymati barcha holatlar uchun 0,98 ni tashkil qildi, ishqalanish mashinasi moydagi abraziv zarrachalarning miqdorini ishlatish sharoitida foydalaniladigan dvigatel karteri moyidagi abraziv zarracha miqdoridan 4 marta yuqori ekanligi, kulachak profilining umumiy uzunligini kulachok profili holatning uzunligiga nisbati qiymatlari 1 dan yuqoriligi 3-jadvalda ko‘rsatilgan.

**Kulachok profilining holatlari bo'yicha modellashtirilgan
namunalarni yeyilishga sinashni tezlashtiruvchi koeffitsientini o'zgarishi**

Tartib raqa-mi	Kulachok profilining holati	Holatning		Sinashni tezlashtirish koeffitsiyenti			
		Qamrov burchagi, grad	Uzunligi, m	Ishqalanish mashinasidana munaning aylanish. Chastotasi bo'yicha	Moydagi abraziv zarrachalarning miqdori bo'yicha	Holatning kulachokda uzunligi bo'yicha	Umu-miy qiymati
Kiritish kulachogi uchun							
1	1	116,0	27,7	0,98	4	4,87	19,1
2	2 -1	12,55	3,3	0,98	4	30,69	120,3
3	2-2	12,55	3,6	0,98	4	32,93	129,1
4	2-3	12,55	3,8	0,98	4	35,53	139,3
5	2-4	12,55	4,1	0,98	4	37,51	147,0
6	2-5	12,55	4,4	0,98	4	40,92	160,4
7	3	1,25	0,4	0,98	4	337,57	1323,3
8	4	1,25	0,4	0,98	4	337,57	1323,3
9	5-1	12,55	3,3	0,98	4	30,69	120,3
10	5-2	12,55	3,6	0,98	4	37,51	129,1
11	5-3	12,55	3,8	0,98	4	35,53	139,3
12	5-4	12,55	4,1	0,98	4	32,93	147,0
13	5-5	12,55	4,4	0,98	4	40,92	160,4
14	6	116,0	27,7	0,98	4	4,87	19,1
Chiqarish kulachogi uchun							
1	1	113,5	27,1	0,98	4	4,18	16,4
2	2-1	13,00	3,4	0,98	4	24,60	96,4
3	2-2	13,00	3,7	0,98	4	26,31	103,1
4	2-3	13,00	4,0	0,98	4	28,29	110,9
5	2-4	13,00	4,3	0,98	4	30,58	119,9
6	2-5	13,00	4,6	0,98	4	33,28	130,5
7	3	1,55	0,54	0,98	4	209,53	821,4
8	4	1,55	0,54	0,98	4	209,53	821,4
9	5-1	13,00	3,4	0,98	4	24,60	96,4
10	5-2	13,00	3,7	0,98	4	26,31	103,1
11	5-3	13,00	4,0	0,98	4	28,29	110,9
12	5-4	13,00	4,3	0,98	4	30,58	119,9
13	5-5	13,00	4,6	0,98	4	33,28	130,5
14	6	113,5	27,1	0,98	4	4,18	16,4

Taqsimlash valining kiritish kulachogi bo'yicha keltirilgan ma'lumotlarga ko'ra sinashni tezlashtiruvchi koeffitsientining eng katta qiymati kiritish kulachogida 1323,3 ni va eng kichik qiymati 19,1 ni, chiqarish kulachogidagi ushbu qiymatlar mos ravishda 821, 4 va 16,4 ni tashkil qildi. Kiritish kulachoklarining sinashni tezlashtirish

koeffitsiyenti chiqarish kulachoklarining sinashni tezlashtirish koeffitsiyentlariga nisbatan 1,61 marta yuqori ekanligi aniqlandi. Bu ma'lumotlar 4 – jadvalda keltirilgan.

4 – jadval

Kulachok profilining holatiga va yeyilishga sinashni tezlashtirish koeffitsiyentiga nisbatan yeyilishga sinash muddatini o'zgarishi

Tartib raqami	Kulachok profilining holati	Kulachok profilini modellashtiruvchi namunaning radiusi, mm	Yeyilishga sinashni tezlashtiruvchi koeffitsiyentning umumiy qiymati	Yeyilishga sinash muddati, soat
Kiritish kulachogi uchun				
1	1	21,5	19,1	6,58
2	2, 5 - 1	23,5	120,3	1,04
3	2, 5 - 2	25,5	129,1	0,97
4	2, 5 - 3	27,5	139,3	0,90
5	2, 5 - 4	29,5	147,0	0,85
6	2, 5 - 5	31,5	160,4	0,78
7	3, 4	31,5	1323,3	0,09
Chiqarish kulachogi uchun				
1	1	21,5	16,4	7,62
2	2, 5 - 1	23,5	96,4	1,30
3	2, 5 - 2	25,5	103,1	1,21
4	2, 5 - 3	27,5	110,9	1,13
5	2, 5 - 4	29,5	119,9	1,04
6	2, 5 - 5	31,5	130,5	0,96
7	3, 4	31,5	821,4	0,15

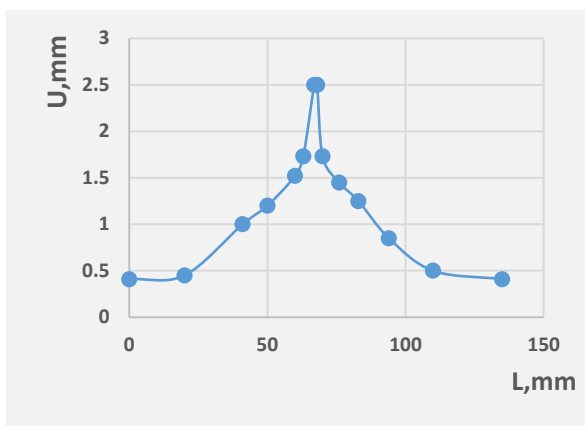
Tadqiqot doirasida kulachok profilining yeyilishbardoshligini namunalardan dumalab ishqalanish sharoitida tadqiq qilish MI-1M ishqalanish mashinasida va yeyilish miqdorini o'lchash, GR-200 analitik tarozisida olib borildi. Namunalarning massa bo'yicha aniqlangan yeyilish miqdori asosida, ularning chiziqli yeyilish tezligini hisoblash quyidagi ifoda orqali amalga oshiriladi,

$$\gamma = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot b \cdot t \cdot \gamma_n} \quad (6)$$

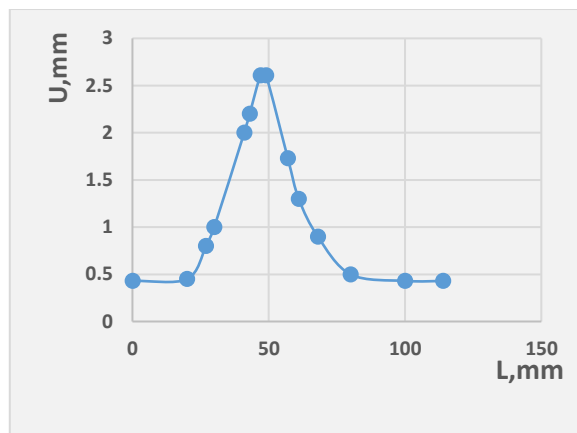
bunda Q – davomiyligi t ga teng bo'lgan vaqt ichida massa bo'yicha yeyilishga sinalgan namunaning grammlarda o'lchangan yeyilish miqdori, g; R – yeyilish tezligi aniqlanadigan namunaning egrilik radiusi, mm; b – sinaladigan namunalarning tutashuvda bo'lgan ishqalanish sirtining uzunligi, mm; γ_n – namuna materialining zichligi g/mm³.

Taqsimlash vali kiritish va chiqarish kulachoklari profillarining uzunliklaridan (umumiy uzunlik mos ravishda 135,028 va 113,148 mm) foydalanib, ushbu uzunliklarning, namunalarning aynan shu radiusdagi yeyilishlari miqdorini ifodalob beruvchi qiymatlari quyida keltirilgan 8 va 9-rasmlarda grafik ko'rinishida aks

etdirilgan. Har ikkala grafikda ham kulachokning kallak qismidagi profil uzunligiga mos keluvchi yeyilishning miqdori eng yuqori ekanligi va kulachok slindrik qismida bu ko'rsatgich bir necha martaga past ekanligini ko'rishimiz mumkin.

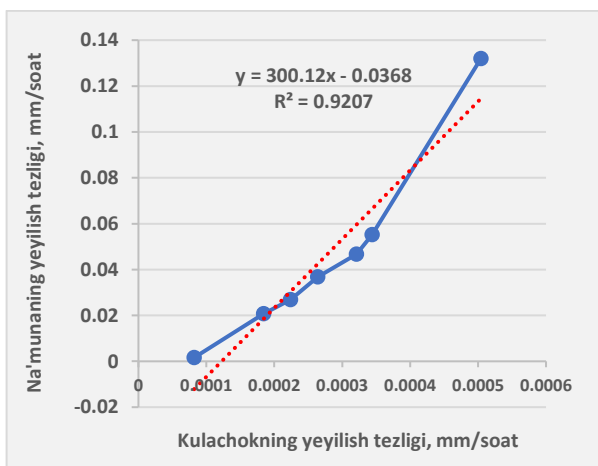


8-rasm. Kiritish kulachogi profilining yeyilish epyurasi

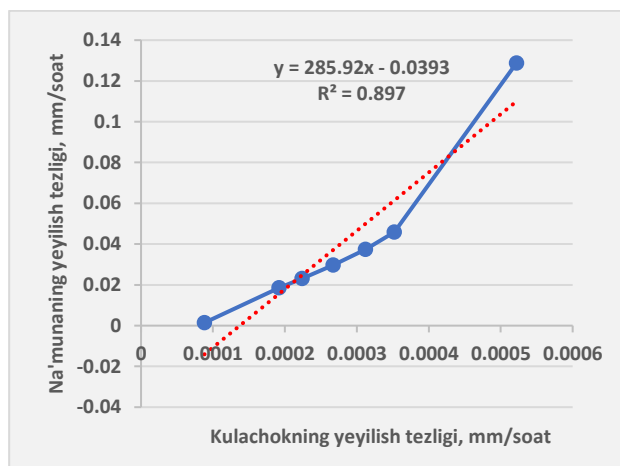


9-rasm. Chiqarish kulachogi profilining yeyilish epyurasi

Kulachok profilining chiziqli yeyilish miqdorini o'lchash aniqligi 0,01mm bo'lgan mikrometr yordamida amalga oshirildi. Mikrometraj jarayonida o'lchov aniqligini ta'minlash maqsadida kulachokning har bir holati uchun to'rt martalik qayta o'lchash natijasida aniqlangan o'rtacha yeyilish miqdori asosida, kiritish va chiqarish kulachoklari profillarida olib borildi.



10- rasm. Kiritish kulachogi profili yeyilish tezligi va na'munaning yeyilish tezligi o'rtasidagi regression model



11- rasm. Chiqarish kulachogi profili yeyilish tezligi va na'munaning yeyilish tezligi o'rtasidagi regression model

Kulachok profili va kulachok profilining egrilik radiusi asosida yasalgan namunalarning yeyilish tezligi o'rtasidagi bog'liqlikni ifodalovchi regression model orqali bu ikki o'zgaruvchi o'rtasidagi bog'liqlik darajasi kuchli (kiritish va chiqarish kulachoklari uchun mos ravishda $R=0,96$ va $R=0,95$) ekanligi aniqlandi(10,11-rasmlar). Bu shundan dalolat beradiki kulachok profili na'munalari yordamida

o'tkazilgan tadqiqotdan olingan natijalar ekspluatatsiya sharoitdagisi bilan to'liq mos tushadi.

Sinash jarayonlarining tahlili ko'rsatishicha, umumiy mehnat sarfining 53% kiritish, 47% esa chiqarish kulachoklarga to'g'ri keladi. Iqtisodiy samaradorlik shartli ravishda qabul qilingan 1000 ta D-240 ichki yonuv dvigateli uchun aniqlandi.

Kiritish va chiqarish kulachoklarini yeyilishbardoshlikka sinashni dvigateldan foydalanish davrida olib borilgan muddatga nisbatan, rolikli na'munalarda olib borilishi, yeyilishbardoshlikka sinash vaqtini 7,65 martaga qisqartirish imkonini beradi. 1000 ta traktorning taqsimlash vali profilini yeyilishbardoshligini namunalarda sinashdan olingan iqtisodiy samara yilliga 139344000 so'mni tashkil qilishi aniqlandi.

XULOSA

«Dvigatel taqsimlash vali kulachok – turtgich juftligi yeyilishbardoshligini tadqiq qilish uslubiyatini ishlab chiqish» mavzusidagi falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi bo'yicha olib borilgan tadqiqotlar natijalari asosida quyidagi xulosalar taqdim etildi:

1. Ichki yonuv dvigatelining gaz taqsimlash mexanizmida belgilari bo'yicha aniqlangan olti guruhdan iborat bo'lgan nozozliklarning 67 % ishqalanish jarayonida ishtirok etuvchi detallarning yeyilishi natijasida sodir bo'lishini nazarda tutgan holda, ushbu dissertatsiya ishi gaz taqsimlash valining kulachoklari va turtgich gilzasidan iborat bo'lgan ishqalanish juftliklarining yeyilishbardoshligini tadqiq uslubiyatini ishlab chiqishga bag'ishlangan.

2. Abraziv muhitda ishlovchi kulachok profilining umumiy yeyilish tezligi abraziv zarrachalar va tutashmadi detallarning g'adir-budurliklari ishtirokida sodir bo'ladigan yeyilish tezliklarining yig'indisi iborat bo'lib, motor moyi tarkibidagi abraziv zarrachalarning miqdorini va o'lchamining otishishi, abraziv zarrachalar ishtirokidagi detallarning yeyilish tezligini ortishi va kulachok profili g'adir-budurliklarning balandligini pasayishi, yeyilish tezligini pasayishiga olib keladi. Motor moyida abraziv zarrachalar bo'lmaganda, kulachok profilining umumiy yeyilish tezligi, tutashmadagi detallarning g'adir-budurliklari ishtirokidagi yeyilish tezligiga teng bo'ladi.

3. Taqsimlash va kulachoklari va turgich gilzasidan iborat bo'lgan ishqalanish juftliklari kiritish va chiqarish kulachok profillarining yeyilish tezliklari yeyilish jarayonida motor moyiga tashqi muhitdan tushuvchi abraziv zarrachalarning ishtirokida va ularning ishtirokisiz - sirt g'adir-budurliklarining o'zaro ta'siridan sodir bo'ladigan yeyilish jarayonlarining tezligini hisoblash uslubiyati ishlab chiqilgan.

4. Kulachok profillarini yeyilishga sinashni tezlashtiruvchi koeffitsientining eng katta qiymati kiritish kulachogida 1323,3 ni va eng kichik qiymati 19,1 ni, chiqarish kulachogidagi ushbu qiymatlar mos ravishda 821,4 va 16,4 ni tashkil qildi.

5. Chiqarish kulachogi profilining yeyilish miqdori, shu holatdagi kiritish kulachogi profilining yeyilish miqdoridan: 1 va 6 – holatlarda o‘zro teng, 2 va 5 holatlarda o‘rtacha 0,17 % ga, 3 va 4 – holatlarda esa 4,4 % ga katta ekanligi aniqlandi.

6. Taqsimlash valini dvigatel tarkibida yeyilishbardoshlikka sinash 250 soatni tashkil qilib, sinov kulachok profili asosida yasalgan rolikli namunalar bilan modellashtirilganda kiritish kulachogini sinov muddati 11,21 soatni, chiqarish kulachogi uchun esa 13,41 soatni tashkil qilib, yeyilishbardoshlikka sinash muddatini mos ravishda 22,30 va 18,64 martaga pasayishi ta’minlandi.

7. Kulachok profili va kulachok profilining egrilik radiusi asosida yasalgan namunalarning yeyilish tezligi o‘rtasidagi bog‘liqlikni ifodalovchi regression model orqali bu ikki o‘zgaruvchi o‘rtasidagi bog‘liqlik darajasi kuchli ya’ni kiritish va chiqarish kulachoklari uchun mos ravishda $R=0,96$ va $R=0,95$ ekanligi aniqlandi.

8. Taqsimlash valining kulachoklarini yeyilishbardoshligini aniqlashni dvigatelda olib borilishi, rolikli namunalarda bajarish bilan almashtirilishi natijasida, yeyilishbardoshlikka sinash muddatini 7,65 martaga qisqartirish va yeyilishbardoshlikka sinashdagi mehnat sarfini 8,50 martaga pasayishi hisobiga olingan iqtisodiy samara 1000 ta traktor uchun yiliga 139344000 so‘mni tashkil qildi.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSC.03/30.12.2019.T.03.04
ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ
ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

КУРБОНОВ БЕХЗОД БАХОДИР УГЛИ

**РАЗРАБОТКА МЕТОДА ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ
КУЛАЧКОВО-ТОЛКАТЕЛЬНОЙ ПАРЫ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО
ВАЛА ДВИГАТЕЛЯ**

05.02.02 – Теория механизмов и машин. Машиноведение и детали машин.

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

Ташкент - 2025

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инновации Республики Узбекистан за номером B2025.1.PhD/T3105.

Диссертация выполнена в Ташкентском государственном техническом университете.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме) размещен на веб-странице Научного совета по адресу www.tdtu.uz и информационно-образовательном портале «Ziynet» по адресу www.ziynet.uz.

Научный консультант:

Иргашев Амиркул Иргашевич
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты:

Ахмедов Азамат Хаитович
доктор технических наук, профессор

Пулатов Тохиржон Рустамбекович
Кандидат технических наук (PhD), доцент

Ведущая организация:

**Навоийский государственный университет
горного дела и технологий**

Защита диссертации состоится «17» декабрь 2025 года в 16⁰⁰ часов на заседании Научного совета DSc.03/30.12.2019.T.03.04 при Ташкентском государственном техническом университете. (Адрес: 100095, г.Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел./ факс(99871)227-10-32, e-mail: tadqiqotchi@tdtu.uz)

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного технического университета (зарегистрирована за № 62). (Адрес: 100095, г.Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел./ факс(99871)227-10-32.)

Автореферат диссертации разослан «04» декабрь 2025 года
(реестр протокола рассылки № 202 от «04» декабрь 2025 года).

К.А. Каримов

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

Ш.Б. Ташбулатов

Ученый секретарь научного совета по присуждению
ученых степеней, д.т.н., доцент

А.А. Мухитдинов

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

ВВЕДЕНИЕ (аннотация к диссертации на соискание степени доктора философии (PhD) по техническим наукам)

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире вопросам совершенствования конструкции двигателей, повышения их эксплуатационной эффективности, а также увеличения срока службы высокоточных деталей уделяется особое внимание. Точная и стабильная работа газораспределительного механизма двигателя во многом зависит от геометрической точности и износостойкости его деталей. В данном направлении возрастает актуальность научных исследований, направленных на обеспечение геометрической точности, разработку конструктивных и технологических решений, снижающих интенсивность изнашивания, уменьшение затрат на техническое обслуживание и повышение функциональной надежности изделий. Научные исследования, направленные на повышение эффективности работы газораспределительного механизма, обеспечивают увеличение общего ресурса двигателя, насыщение рынка качественными запасными частями для автотранспорта, а также создание импортозамещающих высокоточных изделий. В связи с этим вопросам разработки методики исследования и оценки износостойкости деталей двигателя уделяется особое научно-практическое внимание.

Во всём мире проводятся широкомасштабные научные исследования, направленные на повышение надежности газораспределительных механизмов двигателей внутреннего сгорания и изучение процессов изнашивания, возникающих в их трибологических парах. В частности, приоритетное значение имеют исследования, посвящённые научному обоснованию процессов изнашивания в паре кулачок–толкатель распределительного вала под воздействием контактных нагрузок, микрогеометрических изменений и абразивных частиц. Наряду с этим актуальными задачами являются повышение ресурса пары кулачок–толкатель распределительного вала, а также разработка методов ускоренных испытаний износостойкости опытных образцов.

В Республике Узбекистан проводятся широкомасштабные научные исследования, направленные на повышение эффективности транспортных средств и эксплуатационной надежности, улучшение качественных показателей машин и механизмов за счет обеспечения точности машиностроительных деталей и увеличения срока их службы, в результате чего достигнуты определённые результаты. В целях системного продолжения данных процессов в Указе Президента Республики Узбекистан от 28 января 2022 года № PF-60 «О стратегии развития Нового Узбекистана на 2022–2026 годы» определены важные задачи по «обеспечению макроэкономической устойчивости, увеличению доли промышленности в валовом внутреннем продукте, продолжению промышленной политики, направленной на повышение объёмов производства промышленной продукции». В этом контексте разработка методики исследования износостойкости пары кулачок–толкатель распределительного вала служит не только обеспечению стабильной работы газораспределительного механизма, но и увеличению ресурса двигателя, раннему выявлению и

устранению неисправностей, возникающих в процессе технического обслуживания, что имеет важное научно-практическое значение.

Указ Президента Республики Узбекистан от 28 января 2022 года № RF-60 «О стратегии развития Нового Узбекистана на 2022–2026 годы», Постановление Президента от 27 апреля 2018 года № PQ-3682 «О мерах по дальнейшему совершенствованию системы практического внедрения инновационных идей, технологий и проектов», Постановление Президента от 29 марта 2023 года № PQ-103 «О дополнительных мерах по стимулированию обеспечения аграрного сектора современной сельскохозяйственной техникой», а также другие нормативно-правовые документы, регулирующие данную сферу деятельности, определяют задачи, которым в определённой степени способствует выполнение настоящего диссертационного исследования.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики. Настоящее исследование выполнено в рамках приоритетного направления II – «Энергетика, энерго- и ресурсосбережение» развития науки и технологий Республики. Оно соответствует приоритетным направлениям, изложенным в Программе научного исследования приоритетов сельского хозяйства, глобальных, региональных и локальных проблем на 2022–2026 годы, утверждённой Постановлением Кабинета Министров от 24 апреля 2021 года.

Степень изученности проблемы. Зарубежными учёными проведены эффективные исследования в области обеспечения надёжности двигателей автотракторной техники, совершенствования систем технического обслуживания и ремонта, что позволило получить определённые научные результаты. В ведущих научно-исследовательских центрах и высших учебных заведениях мира осуществлены широкомасштабные исследования, направленные на совершенствование работы газораспределительных механизмов двигателей, оценку их технического состояния, выявление неисправностей, возникающих в результате изнашивания, а также прогнозирование технического ресурса деталей. В частности, зарубежные исследователи — K. Shimizu, S. V. Kamkin, M. Karamish, I. V. Voznitskiy, M. Hafiz, G. A. Konks, L. Cveticanin, Z. Stanik, B. Lazarz, S. Juliano, J. A. Escobar, C. Coelho, V. Paradorn, J. Kim, S. Lee, S. P. Lindholm, Y. Takeda, T. Venkatesh, H. Manjunath, Y. Meng и другие — выполнили ряд научных работ, посвящённых исследованию процессов изнашивания в узлах газораспределительного механизма двигателя, диагностике их износостойкости, оценке концентрации абразивных частиц и расчёту параметров шероховатости поверхности. Среди российских и стран СНГ исследователей — S. A. Viktorovich, V. N. Kucherov, Y. A. Kamkin, I. V. Voznitskiy, V. F. Timoshenko, P. V. Stepurin, Y. B. Agyeva, G. A. Timofeev, I. N. Chernishova и другие — проведены научные исследования, направленные на анализ причин неисправностей газораспределительного механизма двигателя, предупреждение отказов и обеспечение стабильности его работы.

Исследования, выполненные в области теории машин и механизмов, также играют важную роль в развитии данной сферы. В этом направлении зарубежные ученые — I. I. Artobolevskiy, R. L. Norton, C. S. Hsiao, A. P. Butenko, V. N. Kudryavtsev, M. Koenigsberger, F. P. Bowden, K. Ludema и другие — достигли значительных научных результатов в области теории машиностроения, динамики механических систем и их математического моделирования. Узбекские учёные также внесли существенный вклад в развитие данного направления. В работах U. A. Ikromov, A. I. Irgashev, A. J. Juraev, Sh. A. Shoobidov, R. I. Karimov, K. A. Karimov, Q. H. Mahkamov, T. R. Po‘latov, X. I. Ishmuratov, N. N. Mirzaev, A. X. Ahmedov, R. E. Shakhobutdinov и других исследованы виды и причины изнашивания узлов газораспределительного механизма, признаки и последствия износа, обуславливающие преждевременный выход деталей из строя, а также предложены научно обоснованные решения по предупреждению неисправностей и восстановлению работоспособности изношенных деталей.

Анализ литературы показывает, что, несмотря на проведённые исследования, направленные на повышение эффективности работы двигателей, оценку ресурса узлов газораспределительного механизма и прогнозирование неисправностей, в настоящее время остаются нерешённые задачи. В частности, разработка ускоренного и оптимального метода испытаний процессов изнашивания распределительного вала путем исследования износостойкости пары кулачок–толкатель имеет важное научное и практическое значение для технического и технологического развития республики.

Связь темы диссертации с научно-исследовательскими планами высшего учебного заведения, в котором выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено на основе фундаментальных и прикладных проектов, реализованных в Ташкентском государственном техническом университете: №15-004 «Оценка технического состояния деталей силовых агрегатов машин и механизмов с возможностью их срочной диагностики без разборки» (2009–2012 гг.), а также №F-2-27 «Разработка научных основ повышения износостойкости зубчатых передач агрегатов мобильных машин и промышленного оборудования» (2012–2016 гг.). Кроме того, работа соответствует научно-исследовательскому плану кафедры «Техника обслуживания» ТашГТУ на 2021–2025 годы.

Цель исследования заключается в разработке методики, обеспечивающей возможность ускоренного испытания кулачка распределительного вала газораспределительного механизма двигателя внутреннего сгорания автотракторной техники на износостойкость.

Задачи исследования: обосновать тему диссертационной работы путём анализа причин возникновения неисправностей, возникающих вследствие износа деталей газораспределительного механизма автотракторного двигателя; исследовать основные параметры и показатели, влияющие на износостойкость кулачков распределительного вала;

провести теоретические исследования, направленные на выявление количества и размеров абразивных частиц в составе моторного масла, а также на определение параметров шероховатости трущихся поверхностей, принимающих участие в процессе износа профиля кулачка;

выполнить теоретические расчёты скорости износа профиля кулачков распределительного вала при наличии и отсутствии абразивных включений в моторном масле, а также при различных характеристиках шероховатости поверхностей трения;

смоделировать процесс трения пары «кулачковый профиль – втулка толкателя» на образцах и разработать методику, обеспечивающую ускоренные испытания данной пары на износостойкость, с последующим проведением экспериментальных исследований;

осуществить оценку экономической эффективности полученных результатов научного исследования.

Объект исследования – впускные и выпускные кулачки распределительного вала двигателя внутреннего сгорания Д-240.

Предмет исследования – разработка методики ускоренных испытаний на износостойкость впускных и выпускных кулачков распределительного вала двигателя внутреннего сгорания Д-240.

Методы исследования. В ходе исследования были использованы методы геометрико-аналитического моделирования, моделирования процесса трения на трибологическом стенде типа МП-1М, метод фракционированных испытаний для определения влияния абразивных частиц, метод ускоренных контактных испытаний образцов материалов, метод измерения микротвердости, метод определения величины изнашивания на основе модели Арчарда, а также методы статистического анализа и регрессионного моделирования.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

получены аналитические зависимости, позволяющие оценивать влияние факторов на износостойкость трибологической пары, состоящей из профиля кулачка распределительного вала и направляющей втулки толкателя, а также вычислять ширину и площадь пятна контакта в зависимости от уровня контактной нагрузки;

показано, что процессы изнашивания профиля кулачка в период эксплуатации протекают как при наличии абразивных частиц, так и при их отсутствии; установлено, что при отсутствии абразивных частиц в составе масла износ происходит преимущественно вследствие взаимодействия микронеровностей (шероховатости) трущихся поверхностей;

определены закономерности изменения уравновешенной шероховатости контактирующих поверхностей профилей впускного и выпускного кулачков в зависимости от усилия деформации клапанной пружины, а также от ширины и площади контактной зоны в трибологической паре «кулачок–толкатель»;

разработана регрессионная модель, выражающая взаимосвязь между скоростью изнашивания образцов, изготовленных на основе профиля кулачка, и радиусом кривизны его рабочей поверхности.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

разработан метод расчёта геометрических параметров профиля кулачков впуска и выпуска в зонах изнашивания распределительного вала;

разработана технология моделирования образцов зон изнашивания профиля кулачков впуска и выпуска;

определено суммарное значение коэффициентов ускорения износных испытаний для моделированных образцов зон изнашивания профиля кулачков впуска и выпуска;

обоснована возможность увеличения скорости изнашивания поверхности кулачка - при испытании образцов, соответствующих различным положениям кулачка, скорость износа может быть увеличена от 19,5 до 821,5 раз по сравнению с реальными условиями эксплуатации.

Достоверность результатов исследования.

Достоверность полученных результатов объясняется применением современных методов и средств исследования, использованием и разработкой программных инструментов, а также проведением сравнительного анализа теоретических и практических исследований, направленных на повышение износостойкости пары трения, состоящей из впускных и выпускных кулачков распределительного вала и втулки толкателя, посредством технического обслуживания и текущего ремонта.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость работы обусловлена разработкой методики, позволяющей оценивать процессы изнашивания профилей впускного и выпускного кулачков распределительного вала как при наличии абразивных частиц, так и при их отсутствии. На основе данной методики определены показатели контактной жёсткости между профилем кулачка и направляющей толкателя, площадь пятна контакта, параметры шероховатости поверхности, а также влияние абразивных частиц на интенсивность изнашивания. В результате расширены возможности научно обоснованной оценки механизмов изнашивания, происходящих в трибологической паре.

Практическая значимость работы состоит в том, что моделирование трибологической пары «кулачок–толкатель» с использованием роликовых аналогов позволило существенно ускорить процесс испытаний. Это создаёт возможность кратного сокращения времени экспериментальных исследований и повышения эффективности оценки износостойкости рабочих поверхностей.

Внедрение результатов исследования. На основе полученных научных результатов по разработке и внедрению методики исследования износостойкости трибологической пары «кулачок–толкатель» распределительного вала двигателя:

разработанная методика ускоренных испытаний кулачков распределительного вала автотракторных двигателей на износостойкость внедрена в практику в МЧЖ «Сурхандарё Агросервис МТП» АО «ЎЗАГРОСЕРВИС» (справка АО «ЎЗАГРОСЕРВИС» № 09-03/102-1180 от 4 декабря 2023 года). В результате проведение испытаний профиля кулачка на

изнашивание по образцам позволило ускорить объём работ по сравнению с испытанием одной пары деталей в 287,4 раза;

проведены работы по испытанию кулачков распределительного вала на износостойкость, которые также внедрены в МЧЖ «Сурхандарё Агросервис МТП» АО «ЎЗАГРОСЕРВИС» (справка № 09-03/102-1180 от 4 декабря 2023 года). В итоге диагностика и проведение 2-го технического обслуживания (2-ТХК) при выполнении работ на двигателе требует 250 часов, тогда как проведение аналогичных испытаний на образцах потребовало лишь 32,7 часа, что позволило сократить длительность испытаний в 7,65 раза;

критерии прогнозирования интенсивности изнашивания, основанные на анализе площади контактного пятна между профилем кулачка и направляющей втулкой толкателя, параметров микрогеометрии поверхности и концентрации абразивных частиц в масле, внедрены в МЧЖ «Сурхандарё Агросервис МТП» (справка АО «ЎЗАГРОСЕРВИС» № 09-03/102-1180 от 4 декабря 2023 года). В результате повысилась точность принятия решений по оценке технического состояния и восстановлению кулачков, что обеспечило снижение повторной интенсивности изнашивания восстановленных кулачков на 18–22 %;

разработанные технологические рекомендации и диагностико-испытательные методики системно внедрены в практику технического обслуживания МЧЖ «Сурхандарё Агросервис МТП» (справка АО «ЎЗАГРОСЕРВИС» № 09-03/102-1180 от 4 декабря 2023 года). В результате ожидаемый годовой экономический эффект составил 139 344 000 (сто тридцать девять миллионов триста сорок четыре тысячи) сумов.

Апробация результатов исследования. Результаты настоящего исследования были обсуждены на 4 международных и 6 республиканских научно-практических конференциях.

Опубликованность результатов исследования. По теме диссертации опубликовано всего 20 научных работ, в том числе 8 статей в научных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертаций (4 статьи – в республиканских, 4 – в зарубежных журналах).

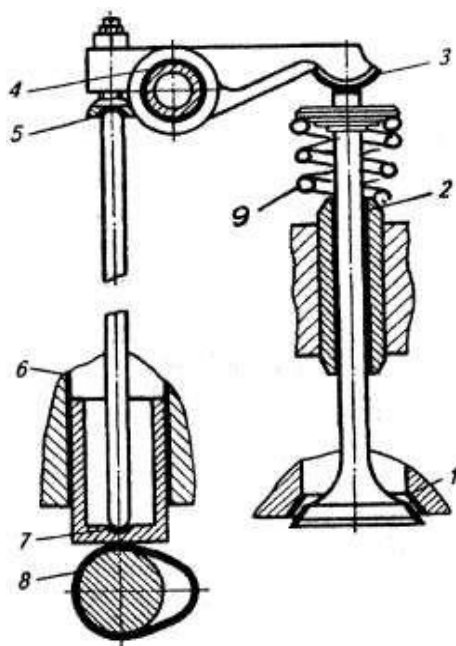
Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка использованных источников и приложений. Общий объём диссертации составляет 118 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении диссертации обоснованы актуальность и необходимость проведённых исследований, сформулированы цель и задачи исследования, определены объект и предмет исследования. Показано соответствие работы приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики, изложены научная новизна и основные результаты исследования. Обоснована достоверность полученных данных, раскрыта их теоретическая и практическая значимость, приведена информация о внедрении результатов исследования, опубликованных работах и структуре диссертации.

В первой главе диссертации, озаглавленной «Исследование факторов, вызывающих отказ деталей газораспределительного механизма в процессе эксплуатации машин», рассмотрены вопросы изученности неисправностей, возникающих в узлах газораспределительного механизма двигателя. В главе приведены результаты исследования процессов износа в этих узлах, выполнен анализ факторов, влияющих на износостойкость деталей газораспределительного механизма. Наряду с этим, на основе анализа научной литературы приведены обоснованные сведения о принципе работы узлов газораспределительного механизма, характерных для них неисправностях, а также подходах к оценке их ресурса.

Согласно данным, полученным в результате анализа литературы, пара «кулачок – толкатель» является одним из ключевых элементов, оказывающих положительное или отрицательное влияние на плавность и цикл работы газораспределительного механизма. Установлено, что 38 % неисправностей, возникающих в газораспределительном механизме в результате износа, приходится именно на данную пару. В связи с этим актуальной задачей является оптимизация ресурса и плавности работы пары «кулачок – толкатель» распределительного вала путём регулирования концентрации абразивных частиц в масле, а также коэффициента шероховатости поверхности кулачка в зоне контакта с толкателем.

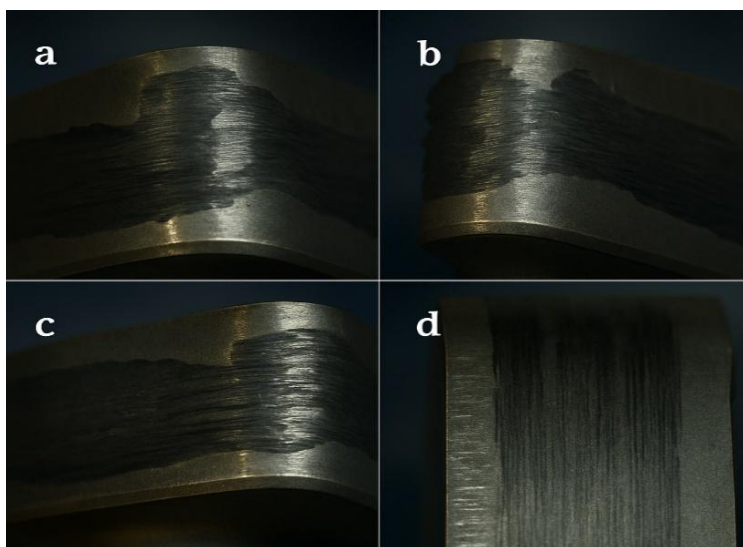


Разумеется, износ поверхностей этих деталей происходит по-разному в зависимости от типов изнашивания, происходящих в них процессов, химических свойств сопрягаемых деталей и ряда других факторов. [17;124-с].

1 – фаска седла-клапана,
2 – стержень клапана – направляющая втулка,
3 – опорная поверхность коромысла – торец клапана, 4 –
втулка коромысла – ось, 5 – регулировочный винт –
штанга, 6 – толкатель – блок, 7 – штанга – толкатель, 8 –
кулачок – толкатель, 9 – пружина

Рисунок 1. Схема узлов газораспределительного механизма, подверженных износу.

В результате взаимодействия пары «кулачок – толкатель» наибольший износ наблюдается в зоне профиля кулачка, обеспечивающей движение в момент открытия клапана (рис. 2.с). Степень износа в зоне закрытия оказалась меньшей по сравнению с участками наклонного подъёма (рис. 2.б). На головной части поверхности кулачка формируется умеренный вдавленный (ямочный) износ (рис. 2.а). Наименьший износ зафиксирован в круговой (цилиндрической) зоне (рис. 2.д). Вследствие контакта пары трения «кулачок – толкатель» износ величиной 0,25 мм в профильной части кулачка вызывает отрицательное отклонение до 3 градусов от заданного угла срабатывания клапана.



а – износ в головной части кулачка, б – износ кулачка в зоне закрытия клапана, с – износ кулачка в зоне открытия клапана, д – износ в круговой (цилиндрической) зоне.

Рисунок 2. Вид износа профиля кулачка по различным зонам.

Одной из основных причин отклонения от нормального функционирования деталей качающихся и трущихся узлов газораспределительного механизма является процесс изнашивания с участием абразивных частиц, происходящий в рабочей среде.

Во второй главе, озаглавленной «**Обоснование параметров, влияющих на износостойкость пары трения кулачок – толкатель**», обоснована тема исследования на основе анализа неисправностей, возникающих в узлах газораспределительного механизма двигателя. Теоретически определены геометрические характеристики профиля кулачков распределительного вала и толкателей, особенности их контакта, а также рассчитаны ширина и площадь зоны контакта пары трения «кулачок – втулка толкателя».

Профиль впускных и выпускных кулачков двигателя представлен в виде шести характерных положений (рисунки 3 и 4). В положениях 1 и 6 профиль кулачка имеет постоянный радиус кривизны, центр которого совпадает с центром вращения кулачка, при этом пара трения «кулачок – втулка толкателя» испытывает минимальную и постоянную нагрузку. В положениях 2 и 5 профиль

кулачка также характеризуется постоянным радиусом кривизны, однако его центр смещён относительно центра вращения кулачка. В данной фазе, вследствие вертикальной деформации пружины клапана, на каждую точку контакта профиля кулачка приходится переменная нагрузка.

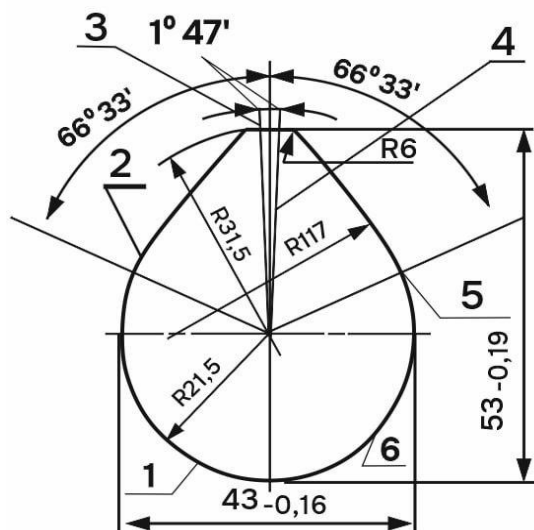


Рисунок 3. Схема расположения характерных участков профиля впускного кулачка.

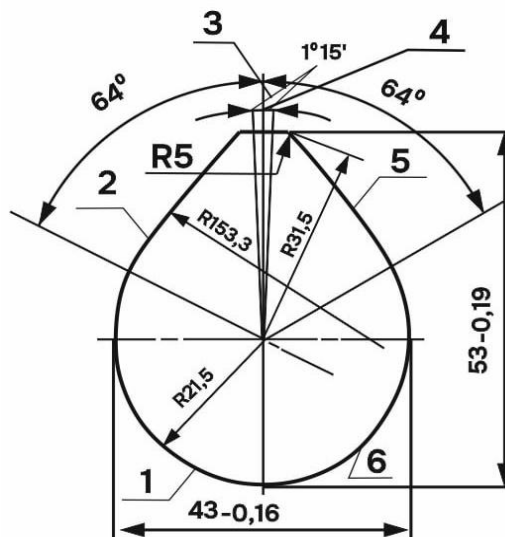
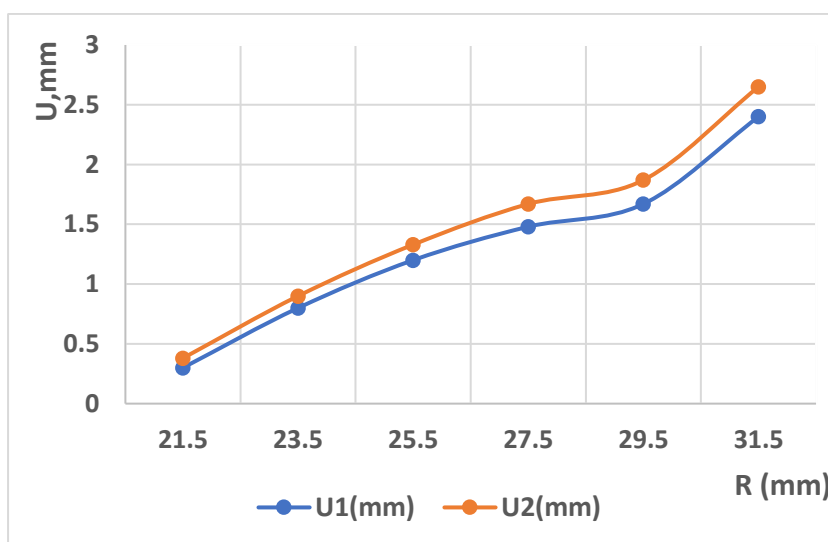


Рисунок 4. Схема расположения характерных участков профиля выпускного кулачка.

На рисунке 5 представлен график изменения величины износа профиля кулачка по зонам в зависимости от радиуса кривизны, построенный на основе микрометрических измерений.



U1 – для впускного кулачка; U2 – для выпускного кулачка.

Рисунок 5. График изменения величины износа профилей кулачков распределительного вала в зависимости от радиуса кривизны профиля кулачка.

При наибольшем значении радиуса кривизны профиля кулачка, равном 31,5 мм, положение поршня соответствовало верхней мёртвой точке цилиндра. Одновременно с этим было установлено, что в зависимости от величины силы, действующей на профиль кулачка и втулку толкателя, износ профиля кулачка в этой зоне превышает износ в цилиндрической части более чем в 8 раз.

Таблица 1

Расчёт общей длины профиля кулачка и её анализ

Зона кулачка	Впускной кулачок			Выпускной кулачок			Разница в длинах профилей кулачков, мм
	угол охвата кулачка, град.	Радиус кулачка, мм	Длина профиля кулачка, мм	угол охвата кулачка, град.	Радиус кулачка, мм	Длина профиля кулачка, мм	
1	116,00	21,5	13,856	113,45	21,5	13,550	0,306
2	62,75	153,3	53,440	65,00	117,0	42,752	10,688
3	1,25	31,50	0,218	1,55	56,18	0,272	-0,054
4	1,25	31,50	0,218	1,55	56,18	0,272	-0,054
5	62,75	153,3	53,440	65,00	117,0	42,752	10,688
6	116,00	21,5	13,856	113,45	21,5	13,550	0,306
Общая длина профиля кулачка, мм			135,028	Общая длина профиля кулачка, мм		113,148	21,880

Согласно данным, приведённым в таблице 1, различия в длине профилей впускного и выпускного кулачков по их положению не являются одинаковыми. В положениях 1, 2, 4 и 6 длина профиля впускного кулачка превышает длину профиля выпускного кулачка. Установлено, что в положениях 1 и 6 длина профиля впускного кулачка превышает соответствующую длину выпускного на 0,02 %, а в положениях 2 и 5 – на 7,92 %.

При расчёте ширины и площади контакта пары трения «кулачок – гилза толкателя» была использована формула определения ширины контакта, применяемая для условий чистого качения между кольцами и роликом конического роликового подшипника:

$$B_i = \frac{3,04 \cdot \sqrt{P_y \cdot \rho_{kel.i} \cdot (1 - \mu^2)}}{\sqrt{l_r \cdot \cos \alpha \cdot E_{kel}}}, \text{ мм} \quad (1)$$

Здесь, μ – коэффициент Пуассона; P_y – нормальная нагрузка, действующая на внутреннее и наружное кольца подшипника со стороны одного ролика; $\rho_{kel.i}$ – приведённый радиус внутреннего кольца и ролика подшипника; l_r – длина ролика подшипника; E_{kel} – приведённый модуль упругости. Данное выражение может быть использовано в случаях, когда между парами трения имеется линейный контакт.

В третьей главе диссертации, озаглавленной «Исследование износостойкости кулачков распределительного вала и факторов, влияющих на износостойкость», приведены расчёты скорости изнашивания профиля кулачков распределительного вала с участием абразивных частиц, а

также определена износостойкость самих кулачков. Кроме того, теоретически исследованы параметры шероховатости, участвующие в процессе износа профиля кулачка, а также размеры и количество абразивных частиц, содержащихся в моторном масле.

Для расчёта скорости изнашивания впускных и выпускных кулачков, участвующих в процессе износа при наличии абразивных частиц в составе смазочного материала, были выведены следующие выражения:

Скорость износа впускного кулачка,

$$\gamma_{a(k)} = \frac{10,29 \cdot d_{orr}^2 \cdot \sigma_a \cdot G_k \cdot n_k \cdot \varepsilon_k \cdot \gamma_a \cdot k_v}{H_k \cdot n_{p.k} \cdot B_k \cdot \gamma_m}, \quad (4)$$

Скорость износа выпускного кулачка,

$$\gamma_{a(ch)} = \frac{10,29 \cdot d_{orr}^2 \cdot \sigma_a \cdot G_{ch} \cdot n_{ch} \cdot \varepsilon_k \cdot \gamma_a \cdot k_v}{H_{ch} \cdot n_{p.ch} \cdot B_{ch} \cdot \gamma_m}. \quad (5)$$

Значения скорости износа впускных и выпускных кулачков, работающих в моторном масле, содержащем абразивные частицы, рассчитаны на основе следующих исходных данных: Средний размер абразивных частиц, участвующих в процессе износа, $d_{orr}=0,012$ мм; Прочность на сжатие абразивных частиц, $\sigma_a=103,9$ МПа; Коэффициент связи между прочностью на сжатие абразивных частиц и твердостью материала впускного кулачка, $G_k=1,968$; Коэффициент связи между прочностью на сжатие абразивных частиц и твердостью материала выпускного кулачка, $G_{ch}=1,984$; Частота вращения впускного (выпускного) кулачка, $n_k = 20\text{с}^{-1}$; Содержание абразивных частиц в моторном масле, $\varepsilon_k=0,2\%$; $0,3\%$; $0,4\%$; $0,5\%$; $0,6\%$; Плотность абразивных частиц, $n_k=1,9$ г/см³; Коэффициент, учитывающий форму абразивных частиц, $k_v=1,003$; Твердость материала впускного кулачка, $H_k=610$ МПа; Твердость материала выпускного кулачка, $H_{ch}=600$ МПа; Количество повторных деформаций, приводящих к разрушению деформированной поверхности трения впускного кулачка, $n_{p.k}=24,0$; Количество повторных деформаций, приводящих к разрушению деформированной поверхности трения выпускного кулачка, $n_{p.ch}=22,3$; Плотность моторного масла, $\gamma_m=0,91$ г/см³.

Выражение для расчета количества абразивных частиц в масле, обеспечивающих износостойкость профилей впускного и выпускного кулачков, представлено следующим образом с учётом предельно допустимого износа профиля кулачка U_{ch} , величины износа при участии абразивных частиц U_{ish} и износа без участия абразивных частиц U_{is} .

$$\varepsilon_{k(k,\text{ч})} = \frac{(U_{ch(k,ch)} - U_{is(k,ch)}) \cdot H_{k,ch} \cdot n_{p,k,ch} \cdot B_{k,ch} \cdot \gamma_m}{10,29 \cdot P \cdot d_{orr}^2 \cdot \sigma_a \cdot G_{k,ch} \cdot n_{k,ch} \cdot \gamma_a \cdot k_v} \quad (6)$$

Таблица 2

Изменение скорости износа профиля впускного кулачка при участии абразивных частиц в зависимости от ширины контакта между профилем кулачка и втулкой толкателя, а также от количества абразивных частиц в масле.

Состояние профиля кулачка	Ширина контакта, мм	Содержание абразивных частиц в масле ϵ_k ,				
		0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
		Скорость износа, мм/час				
1	0,508	0,000347	0,000520	0,000694	0,000867	0,001041
2	0,709	0,000244	0,000366	0,000488	0,000610	0,000732
	0,741	0,000234	0,000351	0,000468	0,000585	0,000702
	0,771	0,000224	0,000336	0,000448	0,000560	0,000672
	0,799	0,000217	0,000326	0,000434	0,000543	0,000651
	0,825	0,000210	0,000315	0,000420	0,000525	0,000630
	0,849	0,000204	0,000306	0,000408	0,000510	0,000612
	0,872	0,000199	0,000298	0,000398	0,000498	0,000597
	0,894	0,000194	0,000291	0,000388	0,000485	0,000582
	0,915	0,000189	0,000284	0,000378	0,000473	0,000567
3	0,764	0,000227	0,000340	0,000454	0,000568	0,000681
4	0,764	0,000227	0,000340	0,000454	0,000568	0,000681
5	0,915	0,000189	0,000284	0,000378	0,000473	0,000567
	0,894	0,000194	0,000291	0,000388	0,000485	0,000582
	0,872	0,000199	0,000298	0,000398	0,000498	0,000597
	0,849	0,000204	0,000306	0,000408	0,000510	0,000612
	0,825	0,000210	0,000326	0,000434	0,000543	0,000651
	0,799	0,000217	0,000326	0,000434	0,000543	0,000651
	0,771	0,000224	0,000336	0,000448	0,000560	0,000672
	0,741	0,000234	0,000351	0,000468	0,000585	0,000702
	0,709	0,000244	0,000366	0,000488	0,000610	0,000732
6	0,508	0,000347	0,000520	0,000694	0,000867	0,001041

Скорость износа профиля впускного и выпускного кулачков при участии абразивных частиц проанализирована для шести характерных участков профиля кулачка. Процесс износа участков 3 и 4 профилей кулачков происходил в зоне, где радиус кривизны профиля составляет 31,5 мм. Установлено, что скорость износа в этих зонах превышает скорость износа на участке 2 профиля впускного кулачка в его конечном состоянии в 1,17 раза, а для выпускного кулачка — в 1,20 раза.

При оценке величины износа поверхности кулачка одним из важных факторов является изучение зависимости между шириной контакта кулачка с толкателем и радиусом кривизны в зоне сопряжения от силы, вызывающей деформацию пружины. На основе разработанной формулы для расчёта ширины контакта были получены результаты в табличной форме, по которым построены графики зависимости этих величин. Следует отметить, что для впускного и выпускного кулачков данные зависимости различаются (рисунки 6 и 7).

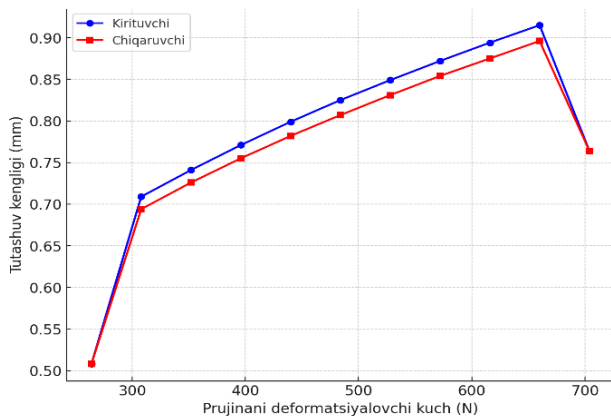


Рисунок 6. Зависимость между деформирующей пружину силой и шириной контакта.

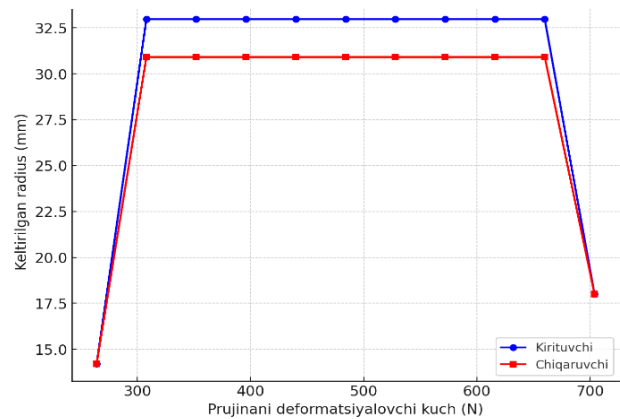


Рисунок 7. Зависимость между деформирующей пружину силой и приведённым радиусом.

Из графика на рисунке 6 видно, что при силе, вызывающей деформацию пружины, равной 660 Н, значение ширины контакта для впускного и выпускного кулачков составляет соответственно 0,915 мм² и 0,896 мм².

В четвёртой главе диссертации, под названием «**Экспериментальное исследование износостойкости профиля кулачка и определение экономической эффективности увеличения его ресурса**», проведено моделирование трения пары, состоящей из профиля кулачка и втулки толкателя, с использованием образцов, обоснование размеров моделируемых образцов, исследование их износостойкости, а также оценка экономической эффективности на основе срока испытаний на износостойкость.

Общая величина коэффициента ускорения испытаний K_i определялась как произведение отношения частоты вращения образца на машине трения к частоте вращения кулачка распределительного вала K_n , отношения содержания абразивных частиц в масле машины трения к содержанию абразивных частиц в масле картера двигателя при эксплуатации K_a , а также отношения общей длины профиля кулачка к длине конкретного исследуемого участка профиля K_p .

В таком случае общая величина коэффициента ускорения испытаний выражается следующим образом.

$$K_i = K_n \cdot K_a \cdot K_p$$

Из-за того, что частота вращения образца в машине трения ниже частоты вращения кулачка распределительного вала, её значение во всех случаях составило 0,98. Установлено, что количество абразивных частиц в масле машины трения в 4 раза превышает количество абразивных частиц в картерном масле двигателя при реальных условиях эксплуатации. Значения отношения общей длины профиля кулачка к длине профиля кулачка в исследуемом положении превышают 1, что представлено в таблице 3.

Таблица 3

Изменение коэффициента ускорения испытаний на износ для смоделированных образцов по положениям профиля кулачка.

№ п/п	Положение профиля кулачка	По положение		Коэффициент ускорения испытаний			
		Угол охвата, град	Длина положения, мм	По частоте вращения образца в машине трения	По количеству абразивных частиц в масле	По длине положения на кулачке	Общая величина
Для впускного кулачка							
1	1	116,0	27,7	0,98	4	4,87	19,1
2	2 -1	12,55	3,3	0,98	4	30,69	120,3
3	2-2	12,55	3,6	0,98	4	32,93	129,1
4	2-3	12,55	3,8	0,98	4	35,53	139,3
5	2-4	12,55	4,1	0,98	4	37,51	147,0
6	2-5	12,55	4,4	0,98	4	40,92	160,4
7	3	1,25	0,4	0,98	4	337,57	1323,3
8	4	1,25	0,4	0,98	4	337,57	1323,3
9	5-1	12,55	3,3	0,98	4	30,69	120,3
10	5-2	12,55	3,6	0,98	4	37,51	129,1
11	5-3	12,55	3,8	0,98	4	35,53	139,3
12	5-4	12,55	4,1	0,98	4	32,93	147,0
13	5-5	12,55	4,4	0,98	4	40,92	160,4
14	6	116,0	27,7	0,98	4	4,87	19,1
Для выпускного кулачка							
1	1	113,5	27,1	0,98	4	4,18	16,4
2	2-1	13,00	3,4	0,98	4	24,60	96,4
3	2-2	13,00	3,7	0,98	4	26,31	103,1
4	2-3	13,00	4,0	0,98	4	28,29	110,9
5	2-4	13,00	4,3	0,98	4	30,58	119,9
6	2-5	13,00	4,6	0,98	4	33,28	130,5
7	3	1,55	0,54	0,98	4	209,53	821,4
8	4	1,55	0,54	0,98	4	209,53	821,4
9	5-1	13,00	3,4	0,98	4	24,60	96,4
10	5-2	13,00	3,7	0,98	4	26,31	103,1
11	5-3	13,00	4,0	0,98	4	28,29	110,9
12	5-4	13,00	4,3	0,98	4	30,58	119,9
13	5-5	13,00	4,6	0,98	4	33,28	130,5
14	6	113,5	27,1	0,98	4	4,18	16,4

Согласно данным, приведённым для впускного кулачка распределительного вала, максимальное значение коэффициента ускорения испытаний составило 1323,3, а минимальное — 19,1. Для выпускного кулачка эти значения составили соответственно 821,4 и 16,4. Установлено, что коэффициент ускорения испытаний для впускных кулачков в 1,61 раза выше, чем для выпускных кулачков. Эти данные представлены в таблице 4.

Таблица 4

Изменение срока испытаний на износ в зависимости от состояния профиля кулачка и коэффициента ускорения испытаний на износ

№ п/п	Состояние профиля кулачка	Радиус образца, моделирующего профиль кулачка, мм	Общее значение коэффициента ускорения испытаний на износ	Время испытаний на износ, час
Для впускного кулачка				
1	1	21,5	19,1	6,58
2	2, 5 - 1	23,5	120,3	1,04
3	2, 5 - 2	25,5	129,1	0,97
4	2, 5 - 3	27,5	139,3	0,90
5	2, 5 - 4	29,5	147,0	0,85
6	2, 5 - 5	31,5	160,4	0,78
7	3, 4	31,5	1323,3	0,09
Для выпускного кулачка				
1	1	21,5	16,4	7,62
2	2, 5 - 1	23,5	96,4	1,30
3	2, 5 - 2	25,5	103,1	1,21
4	2, 5 - 3	27,5	110,9	1,13
5	2, 5 - 4	29,5	119,9	1,04
6	2, 5 - 5	31,5	130,5	0,96
7	3, 4	31,5	821,4	0,15

В рамках исследования износостойкость профиля кулачка в условиях качательного трения с использованием образцов изучалась на триботехнической установке МИ-1М, а измерение величины износа проводилось с использованием аналитических весов GR-200. На основе установленной массы износа образцов рассчитывалась их линейная скорость износа по следующему выражению.

$$\gamma = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot b \cdot t \cdot \gamma_n} \quad (6)$$

Здесь, Q – масса износа испытуемого образца за время испытания продолжительностью t , измеренная в граммах, г; R – радиус кривизны образца, для которого определяется скорость износа, мм; b – длина поверхности трения, находящейся в контакте у испытуемых образцов, мм; γ_n – плотность материала образца, г/мм³.

На основе длин профилей впускных и выпускных кулачков распределительного вала (общая длина соответственно составляет 135,028 мм и 113,148 мм), на рисунках 8 и 9 приведены графики, отражающие значения износа, соответствующего именно этим длинам и радиусам образцов. На обоих графиках видно, что наибольший износ наблюдается в области головки кулачка,

соответствующей длине профиля, тогда как в цилиндрической части кулачка данный показатель в несколько раз ниже.

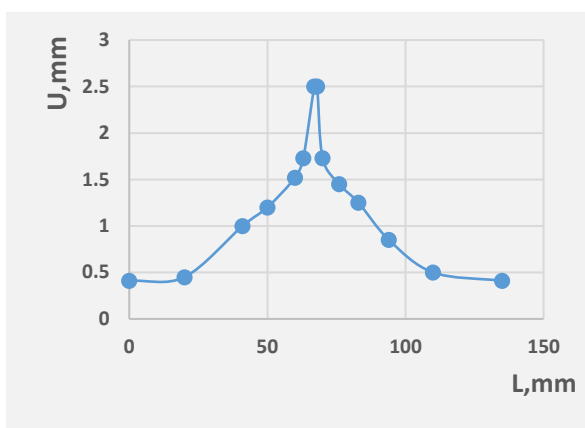


Рисунок 8. Эпюра износа профиля впускного кулачка.

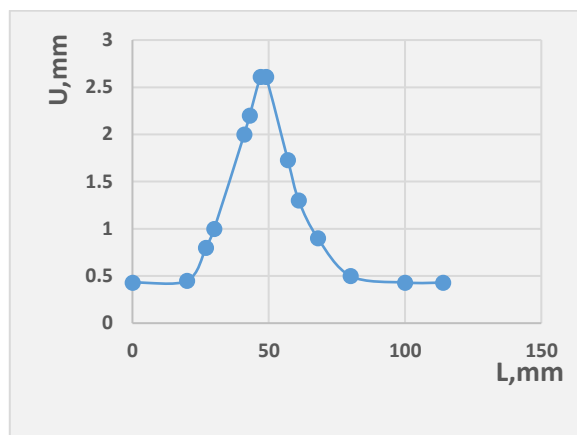


Рисунок 9. Эпюра износа профиля выпускного кулачка.

Линейный износ профиля кулачка измерялся с помощью микрометра с точностью 0,01 мм. С целью обеспечения точности измерений, для каждого положения кулачка проводилось четырехкратное повторное измерение, по результатам которых определялась средняя величина износа. Измерения проводились на профилях впускного и выпускного кулачков.

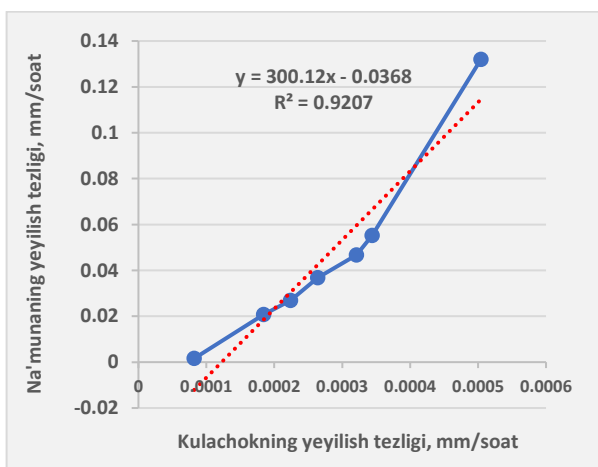


Рисунок 10. Регрессионная модель между скоростью износа профиля впускного кулачка и скоростью износа образца.

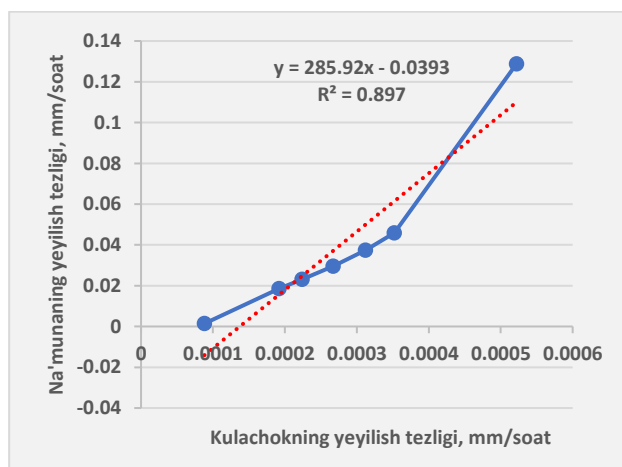


Рисунок 11. Регрессионная модель между скоростью износа профиля выпускного кулачка и скоростью износа образца.

Регрессионная модель, отражающая взаимосвязь между скоростью износа профиля кулачка и скоростью износа образцов, изготовленных на основе радиуса кривизны профиля кулачка, показала высокую степень корреляции между этими двумя переменными (для впускного и выпускного кулачков соответственно $R=0,96$ и $R=0,95$) (рисунки 10, 11). Это свидетельствует о том, что результаты, полученные в ходе испытаний образцов профиля кулачка, полностью соответствуют условиям реальной эксплуатации.

Анализ процесса испытаний показал, что 53% общего трудозатрата приходится на впускные кулачки, а 47% — на выпускные. Экономическая эффективность рассчитывалась условно для 1000 двигателей внутреннего сгорания типа Д-240.

Проведение испытаний на износостойкость впускных и выпускных кулачков на роликовых образцах, по сравнению с длительными испытаниями в составе двигателя, позволяет сократить время испытаний в 7,65 раза. Экономическая выгода от проведения испытаний износостойкости профиля распределительного вала на образцах для 1000 тракторов составила 139 344 000 сумов в год.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведённых исследований по теме диссертации на соискание учёной степени доктора философии (PhD) «Разработка методики исследования износостойкости пары распределительный вал кулачок – толкатель» были сделаны следующие выводы:

1. С учетом того, что 67 % неисправностей газораспределительного механизма двигателя внутреннего сгорания обусловлены износом деталей, участвующих в процессе трения, данная диссертационная работа посвящена разработке методики исследования износостойкости фрикционных пар, состоящих из кулачков распределительного вала и втулок толкателей.
2. Общая скорость износа профиля кулачка, работающего в абразивной среде, представляет собой сумму скоростей износа, возникающих за счёт воздействия абразивных частиц и шероховатости сопряжённых деталей. Увеличение количества и размеров абразивных частиц в моторном масле ведёт к росту скорости износа, а уменьшение высоты шероховатостей профиля кулачка способствует снижению этой скорости. При отсутствии абразивных частиц в масле, общая скорость износа профиля кулачка определяется исключительно износом, вызванным шероховатостью сопрягаемых поверхностей.
3. Разработана методика расчёта скорости износа фрикционных пар, состоящих из распределительного вала, кулачков и втулок толкателей, при участии абразивных частиц, поступающих в моторное масло из внешней среды, а также при их отсутствии — за счёт взаимного воздействия шероховатых поверхностей.
4. Наибольший коэффициент ускорения износных испытаний кулачковых профилей составил 1323,3 для впускного кулачка и наименьший — 19,1; для выпускного кулачка эти значения соответственно составили 821,4 и 16,4.
5. Установлено, что величина износа профиля выпускного кулачка по сравнению с соответствующим профилем впускного кулачка одинакова в положениях 1 и 6, в положениях 2 и 5 в среднем выше на 0,17 %, а в положениях 3 и 4 — на 4,4 %.
6. Испытания на износостойкость распределительного вала в составе двигателя составляют 250 часов, в то время как при моделировании с использованием роликовых образцов, изготовленных по профилю кулачка, длительность

испытаний впускного кулачка составила 11,21 часа, выпускного — 13,41 часа, что позволяет сократить время испытаний на износостойкость соответственно в 22,30 и 18,64 раза.

7. Построенная регрессионная модель, отражающая взаимосвязь между скоростью износа профиля кулачка и образцов, изготовленных на основе радиуса кривизны кулачка, показала высокую степень корреляции между этими переменными: $R=0,96$ для впускного и $R=0,95$ для выпускного кулачка.

8. Замена ресурсных испытаний кулачков распределительного вала в составе двигателя на испытания роликовых образцов позволила сократить продолжительность испытаний на износостойкость в 7,65 раза и трудозатраты в 8,5 раза. Экономический эффект при этом составил 139 344 000 сумов в год для 1000 тракторов.

**SCIENTIFIC COUNCIL FOR AWARDING ACADEMIC DEGREES
DSc.03/30.12.2019.T.03.04 AT THE TASHKENT STATE TECHNICAL
TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY**

QURBONOV BEHZOD BAHODIR OGLI

**DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR INVESTIGATING THE
WEAR RESISTANCE OF THE CAMSHAFT CAM-FOLLOWER PAIR IN
INTERNAL COMBUSTION ENGINES**

**05.02.02 – Theory of mechanisms and machines. Mechanical engineering and machine
elements**

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

Toshkent- 2025

The theme of dissertation doctor of philosophy (PhD) was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number B2025.1.PhD/T3181

The dissertation has been carried out at the Tashkent State Technical University.

The abstract of the dissertation in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) is placed on the web-page of Scientific Council (www.tdtu.uz) and Information and Educational portal «Ziyonet» (www.ziyonet.uz.)

Scientific consultant:	Irgashev Amirqul Irgashevich Doctor of Technical Sciences(DSc), professor
Official opponents:	Axmedov Azamat Xayitovich Doctor of Technical Sciences, professor
	Pulatov Tohirjon Rustambekovich Doctor of Philosophy (PhD) in Technical Sciences, Associate Professor
Leading organization:	Navoi State Mining and Technologies University

The defense of the dissertation will take place on 17nd of december in 2025 at 16⁰⁰ at a meeting of Scientific council DSc.03/30.12.2019.T.03.04 at Tashkent State technical university named after Islam Karimov (Address: 100095, Tashkent, University street, 2 Tel./fax: (99871) 227-10-32, E-mail: e-mail: tadqiqotchi@tdtu.uz).

The dissertation can be reviewed at the Informational Resource Center of the Tashkent State technical university named after Islam Karimov, (is registered under # 62) (100095, Tashkent, University street, 2 Tel./fax: (99871) 227-10-32, E-mail: e-mail: tadqiqotchi@tdtu.uz.)

The abstract of the dissertation sent out on 04th december in 2025 y.
(mailing report 202 dated 04th december in 2025 y.)

K.A.Karimov
Chairman of scientific council
awarding scientific degrees,
doctor of Technical Sciences, Professor

Sh.B.Tashbulatov
Secretary of the scientific council that
awards scientific degrees,
doctor of Technical Sciences, Associate Professor

A.A.Muxitdinov
Chairman of the Scientific Seminar at the Scientific
Council for Awarding Scientific Degrees,
doctor of Technical Sciences, Professor

INTRODUCTION (abstract of PhD dissertation)

The aim of research is to develop a methodology that enables accelerated testing of the wear resistance of the cam of camshaft in the gas distribution mechanism of internal combustion engines used in tractors and automobiles.

Subject of the Study:Development of a methodology for accelerated testing of the wear resistance of the intake and exhaust cam of the camshaft of the D-240 internal combustion engine.

The scientific novelty of the research is as follows:

Analytical relationships have been derived that make it possible to evaluate the factors influencing the wear resistance of the friction pair consisting of the cam profiles of the valve timing mechanism and the tappet sleeve, as well as to calculate the width and area of the contact patch depending on the contact load;

It has been demonstrated that the wear processes occurring on the cam profile during operation take place both in the presence and in the absence of abrasive particles; in particular, when abrasive particles are not present in the lubricant, wear occurs mainly due to the interaction of the surface micro-irregularities (roughness) of the contacting surfaces;

The laws governing the variation of the equilibrium roughness of the rubbing surfaces of the intake and exhaust cam profiles have been identified as a function of the valve spring deformation force, as well as the width and area of the contact zone in the cam–tappet pair;

A regression model has been developed that describes the relationship between the wear rate of specimens manufactured on the basis of the cam profile and the radius of curvature of the cam's working surface.

Scientific and Practical Significance of the Research Results

The scientific significance of the study lies in the development of a methodology that makes it possible to evaluate the wear processes occurring on the intake and exhaust cam profiles of the camshaft both in the presence and in the absence of abrasive particles. Using this methodology, the contact stiffness between the cam profile and the tappet sleeve, the contact patch area, surface roughness parameters, and the influence indices of abrasive particles have been determined. As a result, the possibilities for scientifically justified evaluation of wear mechanisms occurring in the friction pair have been substantially expanded.

The practical significance of the study is explained by the fact that the modeling of the cam–tappet friction pair using roller analogs has enabled a significant acceleration of the testing process.

Application of research results. Based on the scientific results obtained from developing and implementing the methodology for investigating the wear resistance of the camshaft cam–tappet friction pair:

The methodology developed for accelerating wear-resistance testing of camshafts of automotive and tractor internal combustion engines has been

implemented at “Surkhandarya Agroservice MTP” LLC under JSC “O‘ZAGROSERVIS” (reference No. 09-03/102-1180 dated December 4, 2023, issued by JSC “O‘ZAGROSERVIS”). As a result, conducting cam profile wear tests on specimens accelerated the testing process by a factor of 287.4 compared to testing each pair of components directly;

Wear-resistance testing of camshafts was carried out and implemented at “Surkhandarya Agroservice MTP” LLC (reference No. 09-03/102-1180 dated December 4, 2023, issued by JSC “O‘ZAGROSERVIS”). Consequently, performing diagnostics and the second scheduled maintenance (2-SM) directly on the engine requires 250 hours, whereas performing equivalent tests on specimens required only 32.7 hours, thereby reducing the testing duration by a factor of 7.65;

Criteria for predicting the wear rate, based on the contact patch area between the cam profile and the tappet sleeve, surface micro-geometry parameters, and the concentration of abrasive particles in the lubricant, have been implemented at “Surkhandarya Agroservice MTP” LLC (reference No. 09-03/102-1180 dated December 4, 2023, issued by JSC “O‘ZAGROSERVIS”). As a result, the accuracy of decision-making regarding cam evaluation and restoration improved, enabling a reduction of repeated wear rates in restored cams by 18–22%;

Technological recommendations and diagnostic-testing methodologies derived from the research have been systematically integrated into the technical maintenance practice of “Surkhandarya Agroservice MTP” LLC (reference No. 09-03/102-1180 dated December 4, 2023, issued by JSC “O‘ZAGROSERVIS”). As a result, the expected annual economic benefit amounted to 139,344,000 UZS (one hundred thirty-nine million three hundred forty-four thousand Uzbek soums).

The structure and volume of the dissertation:

The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of references, and appendices. The total volume is 118 pages.

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

I bo'lim (I часть; part I)

1. Irgashev A.I., Qurbonov B.B. Gaz taqsimlash vali kulachogi profilining geometrik ko'rsatkichlari va yeyilishbardoshligi. // Ilm-fan va innovatsion rivojlanish. – Toshkent. 6/2022 y. 5 - 17 b. (05.00.00; №6)

2. Irgashev A.I., Qurbonov B.B. Qishloq xo'jaligi texnikalarida qo'llaniladigan ichki yonuv dvigatellarining gaz taqsimlash vali kulachoklari profilining abraziv zarrachalar ishtirokidagi yeyilish tezligini hisoblash. // Agro ilm. – Toshkent, №5, 2024. 83-84 b. (05.00.00; №5)

3. Irgashev A.I., Qurbonov B.B. Gaz taqsimlash mexanizmi uzellari materiallarining tarkibini yeyilishbardoshlikka ko'ra tasniflash. // O'zbekiston qishloq va suv xo'jaligi. – Toshkent, № 11. 2024 , 51-52 b. (05.00.00; №11)

4. Irgashev A.I., Qurbonov B.B. Theoretical study of the size and amount of abrasive particles in motor oil involved in the wear process of cam profile. // World Journal of Agriculture and Urbanization Vol. 03, Sep 2024, pp.10-13. (05.00.00; №7)

5. Irgashev A.I., Qurbonov B.B. Calculation of wear velocity in profile part of cam. // American journal of applied science and technology. – USA, 4(06), 2024, pp.31–36. (05.00.00; №6)

6. Irgashev A.I., Qurbonov B.B. Investigate of wear resistance pair consisting of cam profile of gas distribution camshaft and roller of pusher. // Miasto Przyszłości – Poland. Vol.56, 2025, pp.180–183. (Researchbib, №9)

7. Irgashev A.I., Qurbonov B.B. Basing the parameters of wear resistance in profile part of cam. // The multidisciplinary journal of science and technology - India, Vol. 4, issue-6, pp.462–468. (05.00.00; №6)

8. Irgashev A.I., Qurbonov B.B. Bronza vtulkalarning tarkibini yeyilishbardoshlikka ko'ra maqbullashtirish. // O'zbek ilmiy-texnikaviy va ishlab chiqarish jurnali: Kompozit materiallar. – Toshkent, №4/2022. 82 – 84b. (05.00.00; №4)

II bo'lim (II часть; II part)

9. Irgashev A., Qurbonov B.B. calculation for wear in the profile of the contact surface of the cam. Problems and prospects of innovative technique and technology in agri-food chain. // Proceedings scientific papers of the II-International conference. - Tashkent, 2022. -525 p. 261-262p

10. Курбонов Б.Б. Оценка отклонений профиля в зависимости от угла наклона кулачка. Проблемы и перспективы инновационной техники и технологий в аграрном-пищевом секторе. // Сборник научных трудов II-Международной конференции. – Ташкент. ТашГТУ, 2022. -525 с. 307-308с.

11. Kurbonov B.B. Gaz taqsimlash vali kulachogining profil Qismidagi yeyilishbardosh-likni uniig yeometrik Ko'rsatkichlari asosida baholash. //

“Respublikmizning janubiy hududlarida qishloq va suv xo’jaligiga innovatsion texnika va texnologiyalarni joriy etish istiqbollari” mavzusida ilmiy texnik anjumani. 18- Noyabr 2022 yil .111-115 b.

12. Irgashev A.I., Qurbonov B.B. Gaz taqsimlash vali kulachok profilining yeyilishiga qarshiligini ishqalanish sirtlari g‘adir-budurlikiga bog‘liqligi. // “Zamonaviy muhandislik kommunikatsiya tizimlari va avtomobil yo’llari infrastrukturasiidagi dolzarb muammolar” mavzusida Respublika miqyosidagi ilmiy amaliy konferensiya. NamMQI, 18-19 noyabr, 2022. 136 - 138 b.

13. Amirkul Irgashev, Behzod Kurbonov. Geometric parameters and wear resistance of cam profile of a gas distribution mechanism. // VIII International Conference on Advanced Agritechologies, Environmental Engineering and Sustainable Development (AGRITECH-VIII 2023); E3S Web of Conferences 390, 05045 (2023) Krasnoyarsk, Russia, March 29-31, 2023.

14. Irgashev A.I., Qurbonov B.B. Gaz taqsimlash vali kulachok profilining yeyilishiga qarshiligini ishqalanish sirtlari g‘adir-budurligi asosida baholash. // «Innovatsion texnika va texnologiyalarning qishloq xo’jaligi, oziq – ovqat tarmog‘idagi muammo va istiqbollari» mavzusidagi III xalqaro ilmiy-texnik anjumani. 20-21 aprel, 2023, Toshkent.

15. Irgashev A.I., B.B.Qurbonov, Kulachok va turtkich gilzasi ishqalanish juftligining energiya tejamkorligiga bevosita ta’sir ko’rsatuvchi tutashuv maydonini hisoblash. // «Qayta tiklanuvchi energiya resurslaridan foydalanishning dolzarb muammolari, energiya tejamkor qurilmalarning samaradorligini oshirishda sun’iy intellekt va raqamli texnologiyalarni tadbiiq etish» mavzusidagi xalqaro ilmiy – texnik anjuman. 18-19- sentabr, 2023-yil, Andijon. 151 – 152 b.

16. Irgashev A.I., B.B.Qurbonov. Gaz taqsimlash mexanizmi yo’naltiruvchi vtulkalarining tarkibini yeyilishbardoshlikka ko’ra tanlash. // “Quymakorlik ishlab chiqarish sohasida resurs va energiyatejamkor innovatsion texnologiyalar” mavzusidagi xalqaro miqiyosdagi ilmiy va ilmiy-texnik anjuman.18-19 may, 2023, Toshkent. 227 – 229 b.

17. Irgashev A.I., Qurbonov B.B. Assessment of the wearing process in the details of the gas distribution mechanism. “Ilm-fan muammolari yosh tadqiqotchilar talqinida” mavzusidagi ilmiy konferensiyasi. 28-fevral, 2023-y. 26-29 b.

18. Irgashev A.I., Qurbonov B.B. Kulachok profilini yeyilish jarayonida ishtirok etuvchi g‘adir-budirliklarining ko‘rsatgichlarini nazariy tadqiq qilish. // «Innovatsion texnika va texnologiyalarning qishloq xo’jaligi - oziq-ovqat tarmog‘idagi muammo va istiqbollari» mavzusidagi IV-Xalqaro ilmiy-texnik anjumani. 26-27 aprel Toshkent – 2024, 56-57 b.

Avtoreferat « Texnika fanlari va innovatsiya » ilmiy jurnali
tahririyatida tahrirdan o'tkazildi va o'zbek, rus, ingliz(rezyume)
tillardagi matnlar mosligi tekshirildi

Bosmaxona litsenziyasi:



9338

Bichimi 84x60 ¹/₁₆. «Times New Roman» garniturasini.
Raqamli bosma usulida bosildi.
Shartli bosma tabog'i: 4. Adadi 100. Buyurtma № 59

Guvohnoma № 851684.
«Tipograff» MCHJ bosmaxonasida chop etilgan.
Bosmaxona manzili: 100011, Toshkent, Navoiy ko'chasi, 32-uy.