

**ИСЛОМ КАРИМОВ НОМИДАГИ ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА
УНИВЕРСИТЕТИ «ФАН ВА ТАРАҚҚИЁТ» ДАВЛАТ УНИТАР
КОРХОНАСИ ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.03/30.12.2019.К/Т.03.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

**ИСЛОМ КАРИМОВ НОМИДАГИ ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА
УНИВЕРСИТЕТИ**

ИРГАШЕВ БЕХЗОД АМИРКУЛОВИЧ

**АБРАЗИВ МУҲИТДА ИШЛОВЧИ МАШИНА АГРЕГАТЛАРИ ТИШЛИ
ҒИЛДИРАКЛАРИНИНГ ЕЙИЛИШБАРДОШЛИГИНИ ВА
РЕСУРСИНИ СИРТҚИ ТЕРМИК ИШЛОВ БЕРИШ БИЛАН ОШИРИШ
УСЛУБИЯТИНИ ИШЛАБ ЧИҚИШ**

**05.02.01 – Машинасозликда материалшунослик. Қуймачилик. Металларга термик ва
босим остида ишлов бериш. Қора, рангли ва ноёб металллар металлургияси
(техника фанлари)**

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ ДОКТОРИ (DSc) ДИССЕРТАЦИЯСИ
АВТОРЕФЕРАТИ**

Фан доктори (DSc) диссертацияси автореферати мундарижаси

Оглавление автореферата диссертации доктора наук (DSc)

Content of the dissertation abstract of doctor of science (DSc)

Иргашев Бехзод Амиркулович

Абразив муҳитда ишловчи машина агрегатлари тишли ғилдиракларининг
ейилишбардошлигини ва ресурсини сиртқи термик ишлов бериш билан
ошириш услубиятини ишлаб чиқиш3

Иргашев Бехзод Амиркулович

Разработка методологии повышения износостойкости и ресурса зубчатых
колес агрегатов машин, работающих в абразивной среде, поверхностной
термической обработкой25

Irgashev Bekhzod Amirkulovich

Development of a methodology for increasing the wear resistance and resource of
gear wheels of machine units operating in an abrasive environment, surface heat
treatment.....47

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ

List of published works.....51

**ИСЛОМ КАРИМОВ НОМИДАГИ ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА
УНИВЕРСИТЕТИ «ФАН ВА ТАРАҚҚИЁТ» ДАВЛАТ УНИТАР
КОРХОНАСИ ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.03/30.12.2019.К/Т.03.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

**ИСЛОМ КАРИМОВ НОМИДАГИ ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА
УНИВЕРСИТЕТИ**

ИРГАШЕВ БЕХЗОД АМИРКУЛОВИЧ

**АБРАЗИВ МУҲИТДА ИШЛОВЧИ МАШИНА АГРЕГАТЛАРИ ТИШЛИ
ҒИЛДИРАКЛАРИНИНГ ЕЙИЛИШБАРДОШЛИГИНИ ВА
РЕСУРСИНИ СИРТҚИ ТЕРМИК ИШЛОВ БЕРИШ БИЛАН ОШИРИШ
УСЛУБИЯТИНИ ИШЛАБ ЧИҚИШ**

**05.02.01 – Машинасозликда материалшунослик. Қўймачилик. Металларга термик ва
босим остида ишлов бериш. Қора, рангли ва ноёб металллар металлургияси
(техника фанлари)**

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ ДОКТОРИ (DSc) ДИССЕРТАЦИЯСИ
АВТОРЕФЕРАТИ**

Фан доктори (DSc) диссертациясини манускрипти Ўзбекистон Республикаси Олий таълим, фан ва инновациялар Вазирлиги ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида B2024.4.DSc/TR51 рақам билан рўйхатга олинган.

Докторлик диссертацияси Ислон Каримов номидаги Тошкент давлат техника университети «Фан ва тараққиёт» ДУКда bajarилган.

Диссертация автореферати учта тилда (Ўзбек, рус, инглиз (русча)) Илмий кенгаш веб-саҳифасида www.gurii.uz ва «ZiynNET» ахборот-таълим порталида (www.ziynet.uz) жойлаштирилган.

Илмий маслаҳатчи:

Шообидов Шеразмиш Асқарович
техника фанлари доктори, профессор

Расмий оппонентлар:

Улмасов Тулқин Усманович
техника фанлари доктори, катта илмий ходим

Тўраходжаев Нодир Жамолғироквич
техника фанлари доктори, профессор

Қариниев Мамарамис Сапарович
техника фанлари доктори, доцент

Етакчи ташкилот:

Қирини муҳандислик - иктисодиёт институти

Диссертация химояси Ислон Каримов номидаги Тошкент давлат техника университети «Фан ва тараққиёт» давлат унитар корхонаси ҳузуридаги DSc 03/30.12.2019 К/Т 03.01 рақамини Илмий кенгашнинг 2025 йил «20» февраль, сонат 14^{чи} даги анжуманида бўлиб ўтди (Маниси: 100174, Тошкент, Мирзо Ғолиб кўчаси, 7а уй. Тел.: (99871)246-39-28, факс: (99871)227-12-73, 246-02-34, E-mail: fan va taraqqiyot@mail.ru, «Фан ва тараққиёт» ДУК биниси, 2-қават, анжуманлари зали).

Диссертация билан «Фан ва тараққиёт» давлат унитар корхонасининг Ахборот ресурслари марказида таништириш мумкин (№41-24 - рақами билан рўйхатга олинган) (Маниси: 100174, Тошкент, Мирзо Ғолиб кўчаси, 7а уй. Тел.: (99871)246-39-28, факс: (99871)227-12-73).

Диссертация автореферати 2025 йил «10» февраль, куни тарқатилди.
(2024 йил «12» ноябрь №41-24 рақамли реестр баённомаси)


С.С. Негматов
Илмий директорлар берувчи илмий кенгаш
раиси, УшД-ФА академикси, т.ф.д., профессор


М.А. Искрамова
Илмий директорлар берувчи илмий кенгаш
академикси, т.ф.д., к.и.х.


Н.Х. Талипов
Илмий директорлар берувчи илмий
кенгаш илмий раиси, т.ф.д., профессор



КИРИШ (Фан доктори (DSc) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Дунёда машина ва механизмларнинг хизмат муддатини узайтириш учун деталларнинг ейилишбардошлилиги ва умрбоқийлигини ошириш мақсадида абразив муҳитда ишловчи машина агрегатлари тишли ғилдиракларининг иш ресурсини сиртки термик ишлов бериш орқали ошириш усуллари ишлаб чиқишга бўлган талаб кун сайин ортиб бормоқда. Бу борада, жумладан машина агрегатлари тишли узатмаларининг ейилишбардошлилигига ва ресурсига таъсир этувчи омилларни аниқлаш, етакловчи ва етакланувчи шестерня тишлари ейилиш тезликларининг нисбати орқали уларнинг ейилиш миқдорини аниқлаш усулини ишлаб чиқиш ва абразив муҳитда ишловчи тишларнинг қаттиқлигини ҳисоблаш ҳамда уларнинг иш ресурсини сиртки термик ишлов бериш орқали ошириш усуллари яратиш ва амалиётга жорий этиш алоҳида аҳамият касб этмоқда.

Жаҳонда абразив муҳитда ишловчи машина агрегатлари тишли ғилдиракларининг ейилишбардошлилигини ва иш ресурсини ошириш, очик ва ёпиқ тезлаштирувчи ва пасайтирувчи тишли узатма шестерня тишларининг ейилишбардошлилигига таъсир этувчи омилларни аниқлаш ва сиртки термик ишлов бериш билан уларнинг хизмат қилиш муддатини ошириш услубларини ишлаб чиқиш борасида илмий-тадқиқот ишлари олиб борилмоқда. Бу борада, жумладан, машиналарнинг функционал кўрсаткичлари, уларнинг механизмлари ва трансмиссия агрегатларининг ишлаш даражаси, сифати ва ишончлилигини тизимли тарзда ошиб бориши, сиртки термик ишлов беришнинг тишли ғилдираклар модулига, узатмаларнинг узатиш нисбатига, тишларнинг қаттиқлигига ва абразив муҳитга боғлиқ ҳолдаги турини танлаш услубини ишлаб чиқиш муҳим аҳамиятга эга.

Республикамизда маҳаллий ва иккиламчи хомашёлар асосидаги органоминерал ингредиентлардан фойдаланиб ишлаб чиқарилаётган машина ва механизмларнинг ишчи органларини ишлаш қобилияти ва ейилишбардошлилигини ошириш, табиий иқлим шароитларининг қўлланилаётган машиналарнинг иш ресурсига ва трансмиссия агрегатлари тишли ғилдиракларининг ишлаш қобилияти ва самарадорлигига таъсирини аниқлаш мақсадида илмий тадқиқот ишлари олиб борилиб, муайян натижаларга эришилмоқда. Янги Ўзбекистонни янада ривожлантириш бўйича тараққиёт стратегиясида «...миллий иқтисодиёт барқарорлигини таъминлаш ва ялпи ички маҳсулотда саноат улушини оширишга қаратилган саноат сиёсатини давом эттириб, саноат маҳсулотларини ишлаб чиқариш ҳажмини ошириш...»¹ бўйича муҳим вазифалар белгилаб берилган. Бу борада, жумладан абразив муҳитда ишловчи машина агрегатлари тишли ғилдиракларининг ейилишбардошлилигини ва ресурсини сиртки термик ишлов бериш билан ошириш услубиятини ишлаб чиқиш катта аҳамият касб этади.

¹ Ўзбекистон Республикаси Президентининг “2022 — 2026 йилларга мўлжалланган Янги Ўзбекистоннинг тараққиёт стратегияси тўғрисида”ги 2022 йил 28 январдаги №ПФ-60-сонли Фармони

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2020 йил 5 октябрдаги №ПФ-6079-сон “Рақамли Ўзбекистон - 2030” стратегиясини тасдиқлаш ва уни самарали амалга ошириш чора-тадбирлари тўғрисида”ги, 2020 йил 29 октябрдаги №ПФ-6097-сон “Илм-фанни 2030 йилгача ривожлантириш концепциясини тасдиқлаш тўғрисида”ги фармонлари, 2023 йил 29 мартдаги №ПҚ-103-сон “Аграр секторни замонавий қишлоқ хўжалиги техникалари билан таъминлашни рағбатлантиришнинг қўшимча чора-тадбирлари тўғрисида”ги қарори ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳукукий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги. Мазкур диссертация тадқиқоти Республика фан ва технологиялар ривожланишининг II. “Энергетика, энергия ва ресурстежамкорлик” устувор йўналишига мувофиқ амалга оширилган.

Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий тадқиқотлар шарҳи². Машина деталларига, хусусан тишли ғилдиракларга сиртқи термик ишлов бериш технологияларини мукаммаллаштиришга ва абразив муҳитда ишловчи машина агрегатлари тишли ғилдиракларининг ейилишбардошлигини ва иш ресурсини термик ишлов бериш орқали ошириш услубиятини ишлаб чиқишга қаратилган кенг қамровли илмий тадқиқотлар дунёнинг етакчи илмий марказлари ва олий таълим муассасалари, жумладан, “U.S.Smeltng Refiningand Mining Co” (АҚШ), “Reykin Piston of Tokio” (Япония), “European Association of Alloy” (Бельгия), “Москва пўлат ва қотишмалар институти” (МИСИС, Россия), “Киев политехника институти” (Украина), “Белорусь давлат техника университети” (БГТУ, Беларусь), Institute of Materials Science (АҚШ), Institute of Materials Science and Engineering (Германия), Materials Science Institute (Англия), Institute of Materials Science of Barcelona (Испания), National Institute for Materials Science (Япония), The Erich Schmid institute of materials science of the Austrian academy of sciences (Австрия), Institute of Materials Science (Литва), Латвия ФА полимерлар механикаси институти, РФА Н.С.Ениколопов номидаги синтетик полимер материаллар илмий-тадқиқот институти, Тошкент давлат техника университети “Фан ва тараққиёт” ДУК (Ўзбекистон) олиб борилмоқда.

Дунёнинг барча саноат соҳаларидаги машина ва механизмларнинг ишчи органларини ишлаш қобилияти ва самарадорлигини ҳамда умрбоқийлигини ошириш мақсадида абразив муҳитда ишловчи машина агрегатлари тишли ғилдиракларининг ейилишбардошлигини ва ресурсини ошириш бўйича бир қатор илмий натижаларга эришилган, жумладан: эксплуатация даврида

² Диссертация мавзуси бўйича хорижий тадқиқотлар шарҳи: cyberleninka.ru; mash-xxl.info; doicode.ru-2-03.pdf; science-bsea.narod.ru; studizba.com; stroy-technics.ru; ru.wikipedia.org; mash-xxl.info; de.donstu.ru; studopedia.org; repo.ssau.ru; hon1.ru; poznayka.org; studref.com; ex-kavator.ru; turboreferat.ru; studik.net; otvet.mail.ru; studizba.com; vk.com; http://techliter.ru; gkfenix.ru; oem.chebo.ru; center-sr.ru; verdosplav35.ru; habr.com.ru; metalworkind.com; neftemashtd.ru; ru.wikipedia.org; e-metall.ru; old.bigenc.ru; therm.pro; formung.ru; profbau.ru; stankoff.ru; bigenc.ru; met-all.org; fianum-lab.com; granat-e; soctrade.com; studfile.net; ohranatruda.ru; cyberleninka.ru ва бошқа манбалар асосида ишлаб чиқилган.

тракторнинг цементацияланган тишли ғилдиракларини тебранишга барқарорлигини ошириш усули ишлаб чиқилган (БГТУ, Беларусь); техник темирни газ – термоциклик азотлашда диффузион қатламнинг ҳосил бўлиши ҳисобига шестерня тишларининг ейилишбардошлигини ошириш усули яратилган ва ишлаб чиқилган (ТулГТУ, Россия); химоя мақсадида фойдаланиладиган азотлашни амалга ошириш технологияси ишлаб чиқилган (УралГУ, Екатеринбург, Россия); тишли ғилдиракларни тайёрлаш жараёнида фойдаланиладиган янги азотлаш технологияси яратилган (ХПИ, Харьков, Украина); лазер ёрдамида қиздириш ва пўлатларни азотлаш билан легирлаш қурилмаси ишлаб чиқилган (МАДИ, Россия) азотлаш термогаз-цикли жараён таъсирига асосланган технология яратилган (МГТУ, Россия), автомобил, трактор ва йўл қурилиш машиналарининг очик, ёпик ва тезлаштирувчи (пасайтирувчи) тишли ғилдиракларини ресурсини сиртки термик ишлов бериш усулларининг самарадорлигини оширишга эришилган Institute of Materials Science (АҚШ), Institute of Materials Science and Engineering (Германия), Materials Science Institute (Англия), Institute of Materials Science of Barcelona (Испания), National Institute for Materials Science (Япония), The Erich Schmid institute of materials science of the Austrian academy of sciences (Австрия), Ислом Каримов номидаги Тошкент давлат техника университети “Фан ва тараққиёт” ДУК (Ўзбекистон).

Жаҳонда иккиламчи хомашё ва техноген чиқиндилар асосида ишлаб чиқилган машина ва механизмларнинг деталлари ва агрегатларининг ейилишбардошлилигини ва иш ресурсини ошириш учун уларни тайёрлашда қўлланиладиган компонентларнинг оптимал таркиблари, физик-механик, технологик ва эксплуатацион хоссаларини аниқлаш, технологик жараёнларни бориш механизмларини аниқлаш ва илмий асослаш, абразив муҳитда ишловчи машина агрегатлари тишли ғилдиракларининг ейилишбардошлилигини ва иш ресурсини сиртки термик ишлов бериш билан ошириш услубиятини ишлаб чиқиш каби устувор йўналишлар бўйича тадқиқот ишлари олиб борилмоқда, жумладан автомобил йўллари ва қишлоқ хўжалигида фойдаланиладиган махсус техникаларнинг ишчи агрегатларини ейилишбардошлилигини ва иш ресурсини ошириш мақсадида абразив муҳитда ишловчи махсус техникаларнинг деталларида содир бўладиган технологик жараёнлар механизмларининг ўзгаришларини аниқлаш, машина ва механизмларни агрегатларининг эксплуатацион ва физик-механик хоссаларини асослаш, автомобил ва қишлоқ хўжалиги соҳаларида кенг қўлланиладиган ҳамда ишлаб чиқариш шароитида фойдаланиш учун узоқ муддатга хизмат қилишни таъминлайдиган, саноатнинг замонавий талабларига жавоб берадиган деталларни ишлаб чиқиш.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Дунё амалиётида машиналарнинг трансмиссия агрегатлари деталларининг ейилишбардошлилигини ва уларнинг иш ресурсини ошириш бўйича I. Dudas, V.V. Konchits, M. Braunovic, G. Kazkaz, M. Puppala, Дж. Шрайбфедер, В.П. Онищенко, С. А. Корниловичлар, машина агрегатларининг очик ва ёпик

узатмаларининг ейилишбардошлигини ва ресурсини оширишга қаратилган тадқиқотлар қатор хорижий олимлар Sun Hong, Chang Xiaofang, Wang Shuren, Yan Yutao, Ding Jinyuan, Q. J. Wang, J. Wojnarowski, М.М. Тененбаум, Ю.Н. Дроздов, В.В. Гриб, И.В. Сокол, С. А. Корнилович, Д.Н. Гаркунов, Г.И. Скундин, М.И. Городецкий ва бошқалар, механизм қисмларининг ейилишини пасайтириш имконини берувчи услубларни яратиш ва ишлаб чиқиш бўйича мамлакатимиз олимлари У.А. Икрамов, К.Х. Маҳкамов, Ш.А. Шообидов, А.И. Иргашев, Р.У. Шукуров ва бошқалар ўзларининг муносиб ҳиссаларини қўшганлар.

Мавжуд ишлар таҳлилларига кўра шуни айтишимиз мумкинки, ушбу тадқиқотларда ишчи муҳит таркибида абразив заррачалар мавжуд бўлган ва бўлмаган ҳоллар учун мустаҳкамловчи ишлов бериш тури ва детал материалларининг механик хусусиятлари ҳамда сирт ғадир - будирликлари етарли даражада ўрганилмаган. Ушбу диссертация иши айнан мазкур муаммоларнинг ечимини топишга қаратилган.

Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган олий таълим ёки илмий-тадқиқот муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация иши Тошкент давлат техника университети ҳузуридаги “Фан ва тараққиёт” давлат унитар корхонасининг илмий-тадқиқот ишлари режасига мувофиқ №15-004 «Машина ва механизмларни куч узатиш агрегатлари деталларининг техник ҳолатини, уларни бўлакларга ажратмасдан зудлик билан диагностика қилиш», №Ф-2-27 «Мобил машиналарни ва саноат ускуналари агрегатларининг тишли узатмаларининг ейилишбардошлигини оширишнинг илмий асосларини ишлаб чиқиш» мавзуларидаги лойиҳалар доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади абразив муҳитда ишловчи машина агрегатлари тишли ғилдиракларининг ейилишбардошлигини ва ресурсини сиртқи термик ишлов бериш билан ошириш услубиятини ишлаб чиқишдан иборат.

Тақиқотнинг вазифалари:

машина агрегатлари тишли узатмаларининг ейилишбардошлигига ва ресурсига таъсир этувчи омилларни таҳлил қилиш;

очиқ ва ёпиқ, тезлаштирувчи ва пасайтирувчи тишли узатмаларининг ейилишбардошлигига ва ресурсига таъсир этувчи омилларни таҳлил қилиш;

сирпанишли думалаш ва думалаш шароитларида ишлайдиган сиртқи мустаҳкамловчи термик ишлов берилган машина агрегатлари очиқ ва ёпиқ узатмалари ғилдираклари тишларининг ейилиш тезликлари ўзаро боғлиқлигини назарий тадқиқ қилиш;

сиртқи термик ишлов бериш усуллари билан мустаҳкамланган ғилдирак тишларининг ейилишбардошлиги ва ресурси самарадорлиги тадқиқ қилиш;

роликли намуналар аналоглар ёрдамида узатмалар тишлари ейилишбардошлигини аниқлаш тажриба синовларини ўтказиш ва иқтисодий самарадорликни аниқлаш.

Тадқиқотнинг объекти сифатида машина агрегатларининг очиқ ва ёпиқ, тезлаштирувчи ва пасайтирувчи тишли ғилдираклари олинган.

Тадқиқотнинг предмети машина агрегатларининг тишли ғилдираклари илашмасининг абразивли муҳитда ейилишбардошлилигига таъсир этувчи омиллар, уларни аниқлаш методологияси ҳамда контакт юзаларини мустаҳкамлаш усуллари танлаш ҳисобланади.

Тадқиқотнинг усуллари. Диссертация ишини бажаришда статистик таҳлил, эҳтимоллар назарияси, пухталиқ ва детал материалининг ишқаланиш сиртларида абразив заррачалар иштирокида ва иштирокисиз кечадиган толиқишига асосланган ейилиш назарияси усулларида фойдаланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

абразив муҳитда ишловчи тишли ғилдирак тишларининг ейилишбардошлигини аниқлаш учун умумий ейилиш тезлиги абразив заррачалар иштирокида ва уларсиз содир бўладиган ейилиш тезликларидан иборатлигига асосланган илмий-назарий қараш ишлаб чиқилган ва асосланган;

шестерня тишлари ишқаланиш сиртининг технологик ва мувозанатлашган ғадир-будирлигининг ўзаро нисбатини аниқлаш услубияти ишлаб чиқилган;

очик тишли узатмалардан фойдаланишда атроф-муҳитнинг чангланиш ва ёпиқ тишли узатмалардаги абразив заррачаларнинг мойдаги чегаравий миқдорини аниқлаш услубияти ишлаб чиқилган;

етакловчи ва етакланувчи шестерня тишлари ейилиш тезликларининг нисбати орқали уларнинг ейилиш миқдорини аниқлашнинг назарий усули ишлаб чиқилган;

шестерня тишларининг абразив заррачалар иштирокида ва уларнинг иштирокисиз, думалашдаги ва сирпанишли думалашдаги ейилишбардошлигига таъсир кўрсатувчи геометрик ва кинематик кўрсаткичларни аниқлаш услуби ишлаб чиқилган;

очик ва ёпиқ тишли ғилдирак тишларининг думалашдаги ва сирпанишли думалашдаги ейилиш тезлигини ҳисоблаш услубияти яратилган;

етакланувчи шестернянинг ейилишбардошлигига ва ресурсига боғлиқ бўлган мустаҳкамловчи термик ишлов бериш турини аниқлаш имконини берувчи тишларнинг қаттиқлигини ҳисоблаш аналитик боғликлари аниқланган;

мустаҳкамланган қатламнинг қалинлиги асосида сиртқи мустаҳкамловчи копланмали тишли ғилдиракнинг ресурсини аниқлаш услубияти ишлаб чиқилган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

шестернялар тишларининг ейилиш механизмини аниқлаш мақсадида тезлаштирувчи ва пасайтирувчи узатмаларнинг етакловчи ва етакланувчи шестернялари тишларининг қаттиқлигини ва ейилишбардошлигини танлаш услубияти ишлаб чиқилган;

машина агрегатларини ишлатиш жараёнида ҳажмий тоблаш, юқори частотали ток билан тоблаш, цементациялаш ва азотлаш сиртқи термик ишлов бериш усуллари билан мустаҳкамланган тишли ғилдиракларнинг

ейилишбардошлиги ва ресурси, мустаҳкамланган қатлам қалинлиги аниқланган.

Тадқиқот натижаларининг ишончилиги. Тадқиқот натижаларининг ишончилиги, замонавий тадқиқот услуги ва воситаларнинг ҳамда компьютер дастурларининг қўлланилганлиги ва яратилганлиги, шестерня тишларининг ейилишбардошлиги ва ресурсини оширишга қаратилган назарий ва тажриба тадқиқотлари натижаларининг ўзаро мутаносиблиги билан изоҳланади.

Тадқиқотнинг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти тезлаштирувчи ва пасайтирувчи тишли ғилдираклар ейилишбардошлигини ва ресурсини баҳоловчи услубиятлар ишлаб чиқилганлиги, шестерня тишлари сиртидаги технологик ва мувозанатлашган ғадир-будирлик кўрсаткичлари қийматларининг машина агрегатларини лойиҳалаш, ишлаб чиқариш ва фойдаланиш босқичларида аниқланганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти агрегатлар шестерняларининг ейилишга қаршилигини ҳажмий тоблаш, юқори частотали ток билан тоблаш, цементациялаш ва азотлаш орқали мустаҳкамлаш, шестерня тишлари сиртларининг сирпаниш даражасини, ғадир-будирликларини баҳолашнинг, етакланувчи тишли ғилдирак тишларининг қаттиқлигини танлаш орқали уларнинг ейилишбардошлиги ва ресурсини ошириш мумкинлигининг асосланганлиги ҳамда тадқиқотлар натижаларидан бошқа турдаги узатмалар ейилишбардошлиги ва ресурсини оширишда фойдаланишга хизмат қилади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Абразив муҳитда ишловчи машина агрегатлари тишли ғилдиракларининг ейилишбардошлигини ва ресурсини сиртқи термик ишлов бериш билан ошириш услубиятини ишлаб чиқиш бўйича бажарилган тадқиқотлар натижалари асосида:

экскаватор, автомобиль ва майдалагичларнинг очик тишли узатма шестерняларининг материали пўлат 40Х ни пўлат 65 Г га алмаштириш ишлари «Қорақалпоғистон Республикаси йўллардан мунтазам фойдаланиш» унитар корхонасида амалиётга жорий этилган (Қорақалпоғистон Республикаси автомобиль йўллари бош бошқармасининг 10 январь 2023 йилдаги 03/67-сонли маълумотномаси). Натижада, шестерняларнинг ейилишбардошлигини 31% гача ва ресурсини 35% гача ошириш имконини берган;

йўл-қурилиш материалларини тайёрлашда иштирок этувчи махсус техникаларнинг очик тишли узатмаларида ҳажмий тоблашнинг юқори частотали ток билан тоблашга алмаштириш жараёнлари «Қорақалпоғистон Республикаси йўллардан мунтазам фойдаланиш» унитар корхонасида амалиётга жорий этилган (Қорақалпоғистон Республикаси автомобиль йўллари бош бошқармасининг 10 январь 2023 йилдаги №03/67-сонли маълумотномаси). Натижада, махсус техникаларнинг очик тишли узатмаларининг ейилишбардошлиги ва ресурси 33-37% гача ошириш имконини берган;

очиқ тишли узатма шестерняларига ҳажмий тоблаш ўрнига юқори частотали ток билан тоблаш жараёнлари «Қорақалпоғистон Республикаси йўллардан мунтазам фойдаланиш» унитар корхонасида амалиётга жорий этилган (Қорақалпоғистон Республикаси автомобиль йўллари бош бошқармасининг 10 январь 2023 йилдаги №03/67-сонли маълумотномаси). Натижада, жадал ейилиш натижасида муддатидан аввал яроқсиз ҳолатга ўтган ёпиқ тишли ғилдираклар сонини 55-60% гача камайтириш ҳисобига трансмиссия агрегатларининг ресурсини 28-32% га ошириш имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Диссертация натижалари 16 та, жумладан 6 та Халқаро ва 10 та республика анжуманларида маъруза қилинган ва муҳокамадан ўтган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Диссертация мавзуси бўйича 38 та илмий ишлар chop этилган, шулардан Ўзбекистон Республикаси ОАКнинг докторлик диссертацияларининг асосий илмий натижаларини chop этиш тавсия этилган илмий нашрларда 17 та мақола, жумладан 11 таси хорижий ва 6 таси республика журналларида, 3 та монография эълон қилинган ва 2 та дастурий маҳсулотларга гувоҳномалар олинган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация кириш, бешта боб, умумий хулосалар ва тавсиялар, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат бўлиб, ҳажми 171 бетни ташкил этади.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида ўтказилган тадқиқотларнинг долзарблиги ва зарурати асосланган, тадқиқотнинг мақсади ва вазифалари, объект ва предметлари тавсифланган, республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган, олинган натижаларнинг илмий ва амалий аҳамияти очиқ берилган, тадқиқот натижаларини амалиётга жорий қилиш, нашр этилган ишлар ва диссертация тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг «**Машина агрегатлари тишли узатмаларининг ейилишбардошлиги ва ресурсига таъсир этувчи омилларнинг таҳлили**» деб номланган биринчи бобида машина агрегатлари шестерняларини ишлатиш жараёнида содир бўладиган ейилиш ва шикастланиш турлари келтирилган. Машина агрегатлари тишли ғилдиракларининг ейилиши ёки бузилиши найжасида содир бўладиган носозликлар уларнинг иш қобилиятини тиклаш учун узок муддат туриб қолишини, катта миқдордаги моддий ресурсларнинг сарфланишини талаб этади.

Сиртки термик ишлов берилганда цементацияланган қатламнинг қалинлиги 0,5-2,0 мм, азотланган қатламнинг қалинлиги 0,3-0,6 мм ни ташкил қилади, улар ҳар доим ҳам машина агрегатларининг тишли ғилдираклари учун кўзланган ресурсни таъминлай олмайди. Ундан ташқари, шестерня тишларини сиртки мустаҳкамлаш жараёнида, кескин совитиш ёки қизитишда ички қолдиқ

кучланишларнинг ортиши ва нотекис тақсимланиши содир бўлади. Тоблаш дарзлари, деталларнинг қийшайиши, шестерня тишлари материали механик хусусиятларининг ўзгариши юз беради.

Диссертациянинг «Ишлатиш шароитида фойдаланиладиган шестерняларнинг ейилишбардошлигига ва ресурсига таъсир кўрсатувчи омиллар» деб номланган иккинчи бобида шестерняларнинг ейилишбардошлигига ва уларнинг ресурсига таъсир этадиган омилларнинг таҳлили асосида назарий асослар ишлаб чиқилган. Узатмалар қутисида, орқа кўприкда, қўшимча охириги узатмада содир бўладиган носозликларнинг кўпчилиги тишли ғилдиракларнинг, валларнинг, подшипникларнинг ва яримўқларнинг ейилиши ва шикастланиши натижасида содир бўлади.

100 К.11 ТТЗ русумдаги ғилдиракли тракторларининг туриб қолиш таҳлили шуни кўрсатадики, туриб қолиш трансмиссия агрегатларининг носозликлари натижаларида содир бўлган, бунда содир бўлган носозликларнинг 13% узатмалар қутисига, 14% орқа кўприкка (трактор траъмирлашда умумий туриб қолишидан). Тракторларнинг меъёрдан ортиқ туриб қолиш натижасида йўқотилган даромад 39% ни ташкил қилган (1-жадвал).

1 - жадвал

Бир таъмир оралиғи циклида 100 К.11 ТТЗ трактори трансмиссия агрегатларида алмаштирилган деталларнинг нуқсонлари бўйича тақсимланиши

Деталларнинг ишчи сиртларини нуқсонлари	Нуқсонлари бўйича алмаштирилган трансмиссия агрегатларининг деталлари, %			
	тишли ғилдираклар	шлицали валлар	думалаш подшипник- лари	орқа кўприк яримўқлари
Чегаравий ейилиш	47,8	9,8	40,4	10,3
Пластик деформация	9,1	41,9	13,6	69,7
Тишлашиб қолиш	19,5	-	8,9	-
Деталларнинг ишчи сиртларининг толиқишдан ейилиши	13,1	3,5	22,3	-
Буралишдаги деформацияланув	1,5	18,5	-	-
Мўртликдан синиш	5,2	13,0	10,4	20,0
Носозликларнинг бошқа турлари	3,8	13,3	4,4	-
Ҳаммаси	100	100	100	100

1-жадвалда келтирилган маълумотларга кўра 100 К.11 ТТЗ трактори агрегат мойига тушувчи абразив чанги, мойни алмаштириш даврида шестерня тишларининг қалинлиги бўйича ейилиши 48,4% ни ташкил қилган.

Тракторлардан бир таъмир орағида фойдаланилганда 19,5% шестернялар тишларининг каллак ва пой қисимларда сирпаниш содир бўлишидан тишлашиб қолиши. айрим ҳолатларда эса тишли ғилдиракларни пластик

деформацияси, мўрт синиши ва буралишдаги деформацияланиш натижасида яроқсиз ҳолатга ўтади.

Трансмиссия валларининг нуқсонлари асосан, шлицаларнинг пластик деформацияси, буралишдаги деформацияланиш, шлица тишларининг қалинлиги бўйича ейилиши натижасида содир бўлади.

Думалаш подшипникларидаги носозликларни алмаштиришга олиб келувчи сабабнинг асосий қисми халқаларни ва думалаш элементларининг ейилиши 40,4% ни, ишқаланиш сиртларининг толиқиши 22,3% ва пластик деформация 13,6 ни ташкил қилган.

Машиналардан фойдаланиш даврида ярим ўқларнинг асосий қисми шилицалик қисмининг пластик деформацияси 69,7% ни, ярим ўқ стерженининг мўртлик натижасида синиши 20% ташкил қилган.

Шестерня тишлари орасида содир бўладиган нисбий сирпанишнинг ҳисоб натижалари 2-жадвалда келтирилган, унинг қийматлари шестерня тишларининг каллаги ва пойи учун турлича бўлиши мумкин.

2 - жадвал

Тишларнинг нисбий сирпаниш коэффициентининг илашманинг баландлик коэффициенти k га нисбатан ўзгариши

k	0,000	0,167	0,333	0,500	0,667	0,833	1,000
$z_{ш}$	Шестерня тишларининг сирпаниш коэффициенти ψ , етакловчи шестерня каллаги учун,						
11	0,000	0,873	1,645	2,331	2,967	3,559	4,115
15	0,000	0,908	1,706	2,439	3,125	3,759	4,367
19	0,000	0,920	1,748	2,513	3,236	3,906	4,566
23	0,000	0,929	1,776	2,571	3,311	4,016	4,695
27	0,000	0,936	1,795	2,611	3,378	4,115	4,808
31	0,000	0,940	1,812	2,639	3,425	4,184	4,902
$z_{ш}$	Шестерня тишларининг сирпаниш коэффициенти ψ , етакланувчи шестерня пойи учун						
11	0,000	0,849	1,565	2,169	2,695	3,165	3,597
15	0,000	0,889	1,642	2,309	2,907	3,448	3,937
19	0,000	0,905	1,692	2,404	2,865	3,636	4,184
23	0,000	0,917	1,730	2,469	3,155	3,788	4,386
27	0,000	0,923	1,757	2,525	3,236	3,891	4,525
31	0,000	0,927	1,776	2,564	3,300	3,984	4,651

Нисбий сирпаниш коэффициенти шестерня тишларининг каллагида ва пойида шестерня тишларининг орасида сирпаниш мавжудлигини кўрсатади. Нисбий сирпаниш коэффициенти қуйида келтирилган ифода орқали ҳисобланади:

$$\psi = \sqrt{z_{ш}^2 \cdot \sin^2 \alpha + 4 \cdot k \cdot z_{ш} \pm 4 \cdot k^2} - z_{ш} \cdot \sin \alpha, \quad (1)$$

бунда $z_{ш}$ - етакловчи шестерня тишларининг сони; α - илашиш бурчаги; k - тишнинг баландлик коэффициенти.

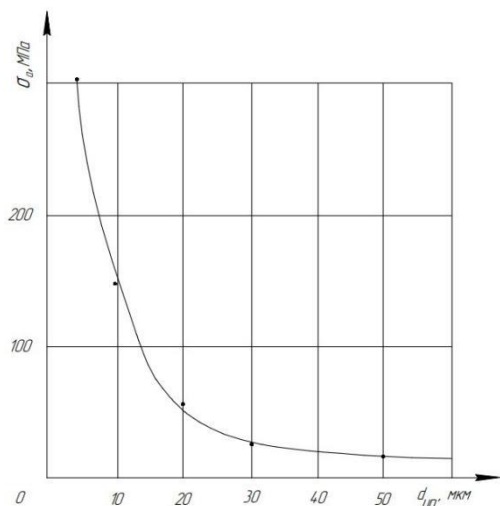
Шестерня тишларида сирпаниш бўлганда ейилиш тезлигини ҳисоблаш ифодасини соддалаштириш мақсадида шестерняларнинг қаттиқлиги ва

абразив заррачаларнинг сиқилишга мутаҳкамлигининг нисбатини ҳисобга олувчи коэффициент киритилган:

$$\Gamma_{w,k} = \frac{3(H_{w,k}\sigma_a - \sigma_a^2)^{1/2}}{H_{w,k}} + 4 \cdot \left(\frac{\sigma_a}{H_{w,k}} \right)^{1/2}, \quad (2)$$

бунда $H_{w,k}$ - етакловчи (етакланувчи) шестерня материалининг каттиқлиги, МПа; σ_a - абразив заррачанинг сиқилишга мустаҳкамлиги, МПа.

Шестерня тишларининг понасимон тирқишида жойлашган абразив заррачаларнинг майдаланишга олиб келувчи нормал сиқиш кучланиши қуйидаги ифода орқали аниқланади:



1 - расм. Абразив заррачаларнинг ўлчамига боғлиқ бўлган ҳолда, абразив заррачанинг сиқилишга мустаҳкамлигининг ўзгариши

2-расмда келтирилган график боғланиш орқали шундай хулосага келиш мумкинки, абразив заррача ўлчамининг катталашини билан унинг майдаланишига олиб келувчи нормал сиқувчи кучланишнинг пасайиши содир бўлади:

$$\sigma_a = \frac{4P_a}{(\pi d_{yp}^2)}, \text{ МПа.} \quad (3)$$

Бунда P_a -абразив заррачага таъсир кўрсатувчи нормал куч, Н; d_{yp} - абразив заррачанинг ўртача ўлчами, мм.

1-расмда келтирилган боғланишда, абразив заррачаларнинг ўлчами ортиб бориши билан, уларни нормал юклама билан сиқилиши натижасида абразив заррачаларнинг майдаланиш юкламасини пасайишига сабаб бўлади.

Ушбу ҳолат мойдаги ейилиш жараёнида иштирок этувчи майда абразив заррачалар ейилишбардошлик жиҳатидан ҳавфли эканлигини кўрсатади.

Машиналардан фойдаланиш шароитида агрегат қартерининг герметиклик даражаси ва атроф-муҳит чанглилиги ўзгармас бўлган ҳолда агрегат мойида тўпланиб борувчи ейилиш жараёнида иштирок этувчи абразив заррачаларнинг миқдорини ҳисоблаш учун қуйидаги ифодани таклиф этиш мумкин:

$$\varepsilon_k = k_1 \cdot \delta_z - \varepsilon_0 = \frac{\delta_z \cdot (2 \cdot k_1 - B \cdot (k_1 - 1) \cdot (k_1 - (k_1 - 2) \cdot B))}{2} \quad (4)$$

бунда δ_z - етакланувчи шестернянинг бир айланишида мойга тушувчи абразив заррачанинг миқдори; Б - етакланувчи шестерня бир айланиш содир этганда майдаланган абразив заррачаларнинг миқдори.

Атроф муҳитдан агрегат мойига тушувчи абразив заррачаларнинг миқдорини етакланувчи шестерня бир айланиш содир этгандаги ўзгариши қуйидаги нисбатдан аниқланади:

$$\delta_z = \frac{\varepsilon_{об}}{N} \quad (5)$$

Бунда N - агрегатдаги мойни алмаштириш муддатида етакланувчи шестернянинг айланишлари сони.

Агрегат мойида бир юкланиш цикли давомида майдаланган абразив заррачаларнинг ҳиссаси қуйидагича аниқланади:

$$B = \frac{2 \cdot n_1 \cdot m \cdot d_{cp} \cdot \delta_z \cdot \gamma_m \cdot k_p}{G_m} \quad (6)$$

Бунда n_1 - тишлари мойга ботган шестерня жуфтликларининг сони; m - илашиш модули, мм; γ_m - мойнинг зичлиги г/см³; G_m - агрегат картерига қуйиладиган мойнинг массаси, кг.

Абразив заррача ва шестерня тишларининг ишқаланиш сиртлари орасида мой пардасининг мавжудлиги улар орасидаги ишқаланиш коэффицентининг пасайишига олиб келади, натижада шестерня тишлари орасига кирувчи абразив заррачаларнинг энг кичик ўлчами кичиклашади:

$$d_{\max \text{ м}} = d_{\max \text{ с}} - 2h_a \quad (7)$$

Бунда $d_{\max \text{ с}}$ - қуруқ ишқаланишда шестернялар тишлари орасидаги понасимон тирқишга тушувчи абразив заррачаларнинг энг катта ўлчами, мм; h_a - шестерня тишлари орасидаги мой пардасининг қалинлиги, мкм.

Шестернялар тишлари орасида мой пардаси мавжуд бўлганда, ишқаланиш коэффиценти:

$$f_{\text{мэн}} = f_{\text{can}}^2 - \frac{(\rho_w + \rho_k)^2 + \rho_w \cdot \rho_k \cdot f_{\text{can}}^2 - h_a^2}{\rho_w \cdot \rho_k}, \quad (8)$$

бунда f_{can} - қуруқ ишқаланишдаги тишлар орасидаги ишқаланиш коэффиценти; ρ_w ва ρ_k - мос ҳолда етакловчи ва етакланувчи шестерня профили туташув нуктасининг эгрилик радиуслари, мм.

Қуруқ ишқаланишда сирпаниб ишқаланиш коэффицентининг қиймати қуйидагича аниқланади:

$$f_{\text{can}} = \frac{3,11 \cdot \left(1 - \sqrt{1 - 6 \cdot (c \cdot \sigma_T \cdot \theta)^2}\right)}{c \cdot \sigma_T \cdot \theta}. \quad (9)$$

Бунда c - деформация коэффиценти; σ_T - тишли ғилдирак материалнинг оқувчанлик чегараси, МПа; θ - эластиклик доимийлиги, 1/МПа.

Шестерня тишлари орасидаги понасимон тирқишда мой пардаси бўлганда, ушбу тирқишга кирувчи абразив заррачаларнинг энг катта ўлчами:

$$d_{\max m} = \left((\rho_w + \rho_k)^2 + \rho_w \cdot \rho_k \cdot f_{\text{can}}^2 \right)^{1/2} - (\rho_w + \rho_k), \text{ мм.} \quad (10)$$

Шестерня тишларининг ейилиш жараёнида шундай абразив заррачалар иштирок этиши мумкинки, уларнинг ўлчами тишлар орасидаги мой пардасининг қалинлигидан кичик бўлмаслиги лозим, яъни:

$$d_{\min} = h_{\min} + s_c, \text{ мм.} \quad (11)$$

Бунда $h_{\min}$ - шестернялар тишларининг орасидаги мойнинг энг кичик қалинлиги, мм; s_c - шестерня тишлари сиртларининг эластик деформацияси, мм.

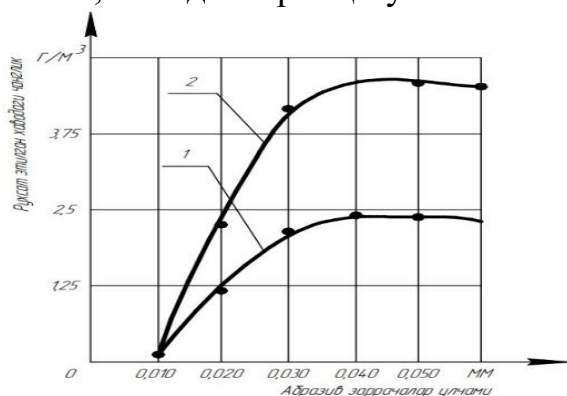
Шестерня тишларининг ейилиш жараёнида иштирок этувчи абразив заррачаларнинг ўртача ўлчами:

$$d_{\text{cp}} = \sqrt{d_{\max} \cdot d_{\min}}, \text{ мм} \quad (12)$$

Ғилдирак тишларининг белгиланган ейилишбардошлигини таъминлаш илашиш модулига, тишли узатманинг геометрик-кинематик кўрсаткичларига, шестерня тишларининг механик хусусиятлари ва ейилиш тезлигига ҳамда ейилиш жараёнида иштирок этувчи абразив заррачаларнинг ўлчамига боғлиқ:

$$\varepsilon_{\text{ш.к}} = \frac{0,212 \cdot H_{\text{ш.к}}}{\sigma_a} \cdot \sqrt{\frac{\gamma_{\text{аш.к}} \cdot \text{tg} \delta \cdot b \cdot z_{\text{ш.к}} \cdot n_{\text{рш.к}}}{d_{\text{cp}} \cdot \Gamma_{\text{ш.к}} \cdot n_{\text{ш.к}} \cdot m \cdot (\text{tg} \delta + 1) \cdot k_v \cdot \psi_{1,2}}}, \quad (13)$$

Шундай қилиб, ҳисоб натижалари шуни кўрсатадики, шестерня тишларининг ейилишбардошлигини таъминлашда етакчи ва етакланувчи шестернялар учун мос ҳолда абразив заррачаларнинг мойдаги миқдори 0,54% ва 0,60% дан ортиқ бўлмаслиги лозим.



2 – расм. Етакланувчи тишли ғилдирак тишларининг ейи-лишбардошлигини таъминловчи абразив заррачанинг чегаравий рухсат этилган мойдаги миқдорининг абразив заррачанинг ўлчамига боғлиқ бўлган ҳолда ўзгариши: 1 – пўлат 40Х; 2- пўлат 65 Г

Очиқ тишли узатма ишлайдиган муҳитнинг чегаравий чанглилик даражаси қуйидаги ифода орқали ҳисобланади:

$$[\varepsilon_e] = \frac{[\gamma_{\text{ак}}^2] \cdot H_{\text{к}}^4 \cdot n_{\text{рк}}^2 \cdot \gamma_a \cdot z_{\text{к}}^2 \cdot z_{\text{ш}}^2 \cdot L^2 \cdot i^2}{4,52 \cdot k_a \cdot m^3 \cdot \sigma_a^4 \cdot \Gamma_{\text{к}}^2 \cdot d_{\text{cp}} \cdot n_{\text{к}}^2 \cdot (z_{\text{к}} - k)^2 \cdot \psi_2^2}. \quad (14)$$

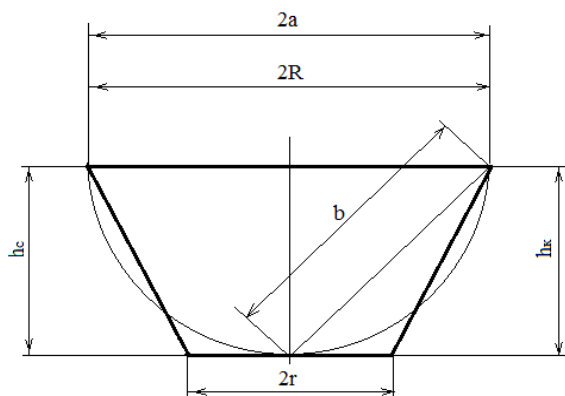
Тишларнинг чегаравий ейилиши тезлиги, уларни қалинликлари бўйича чегаравий ейилиши орқали аниқланади, ГОСНИТИ тавсияларига мувофиқ

унинг қиймати 20-25% чегарасида, ушбу ҳолат тишли узатмага қўйилган талабларга боғлиқ, ушбу чегара шеестерня тишларининг қадамининг 20% га тенг қилиб қабул қилинган. У ҳолда етакланувчи шестерня тишнинг чегаравий ейилиш миқждори:

$$[U_n] = 0,1 \cdot \pi \cdot m, \text{ мм.} \quad (15)$$

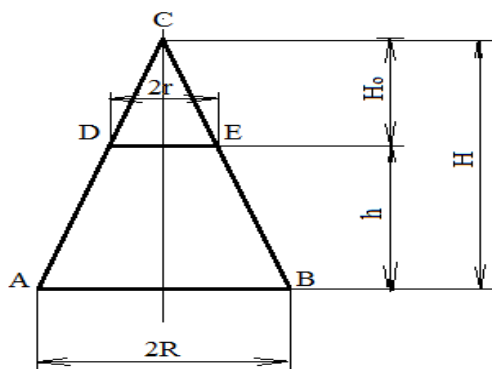
Илашиш модули $m=3$ мм бўлган етакланувчи филдирак тишининг илаш муддати 500 соат бўлганда ейилиш тезлиги қуйидагича аниқланади:

$$[\gamma_{ак}] = \frac{0,1 \cdot \pi \cdot m}{T_g} = \frac{0,1 \cdot 3,14 \cdot 0,0003}{500} = 0,0001884, \text{ мм/ соат} \quad (16)$$



3 - расм. Сферик шаклдаги ғадир-будирлик модели асосида бажарилган кесик конус шаклдаги ғадир-будирлик моделининг схемаси

Фойдаланиладиган сферик модель айрим камчиликларга эга, ғадир-будурликнинг ишқаланишнинг сиртининг узунлиги ва эни бўйича кетма-кет жойлашганлиги. Ҳақиқатда эса бундай ғадир-будирликнинг жойлашиши ҳеч қандай стандат қонуниятга эга эмас.



4 - расм. Технологик ғадир-будурлик баландлигини ҳисоблаш схемаси

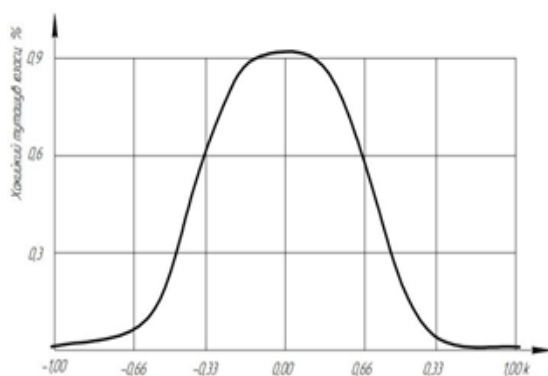
Конуссимон шаклда моделлаштирилган ғадир-будурлик бўртламаларида улар туташув юзасини ҳосил қилади. Уларнинг қиймати мустаҳкамлик чегарасидан ошмаганда туташув жараёнида ортиб боровчи туташув юзасини ҳосил қилади. Бунжда ҳосил бўлган муванашлашган ғадир-будурлик кесик конус шаклига эга бўлади.

Конуссимон шаклда моделлаштирилган ғадир-будирлик бўртламаларида шестернялар ишқаланиш сиртларининг сиқилишга мустаҳкамлигидан

ошмайдиган барқарор юкламаларда ишлаш жараёнида текис ортиб боровчи туташув майдони ҳосил бўлади.

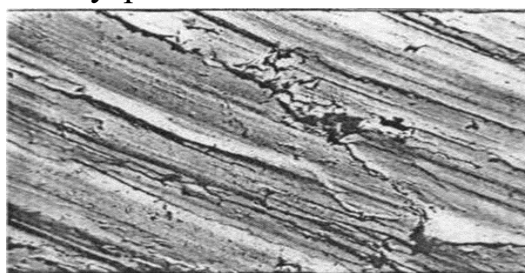
Ҳосил бўлган мувозанатлашган ғадир-будирлик модели кесик конус шаклига эга бўлади.

Сферик ва кесик конус кўринишдаги шаклга эга бўлган моделларнинг ишқаланиш жараёнида, шестерня тишлари ишқаланиш сиртларининг деформацияланиш ҳажмининг ва ейилиш тезликларининг тенглигини таъминлаш 4 расмда келтирилган схема асосида олиб борилди. Мувозанатлашган ғадир-будирликнинг баландлиги h технологик ғадир-будирлик баландлиги H нинг 0,69 қисмини ташкил этиши аниқланган. Тишли ғилдирак бўртламасининг контр жисм сиртига ботиши натижасида диаметри $2R$ га тенг бўлган туташув доғи ҳосил бўлади.

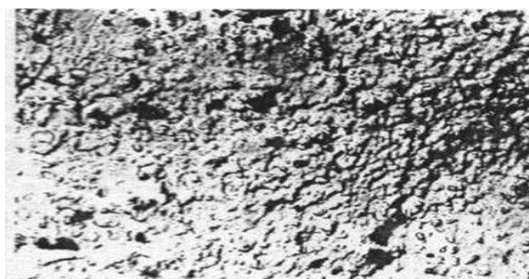


**5-расм. Тишнинг баландлик
коэффициентига нисбатан
шестерня тишлари ҳақиқий
туташув майдонининг ўзгариши**

Технологик ғадир-будирликнинг H - h тенг бўлган қисми мослашиш жараёнида ейилишга учрайди. 3-жадвалда келтирилган ҳисоб натижаларига кўра, илашиш модули 1 мм бўлган тиш сиртининг ғадир-будирлиги етакловчи ғилдирак учун 8-синфга, етакланувчи тишли ғилдиракда эса, 7-синф ғадир-будирлигига тўғри келади.



**6-расм. МТЗ-82 трактори
орқа кўприги шестерняси
ейилган тиши каллак (пой)
қисмлари ишқаланиш сиртлари
микроструктураси (x250)**



**7-расм. МТЗ-82 трактори
орқа кўприги шестерняси ейилган
тиши илашиш қутби соҳасининг
микроструктураси (x250)**

5-расмда келтирилган боғланиш шуни кўрсатадики, шестерня ҳақиқий туташув юзасининг ортиб бориши тишнинг баландлик коэффициентига боғлиқ ҳолда деярли симметрик шаклга яқин.

Илашмадаги амалдаги туташув юзаси шестерня (6 - 7 расмларга қаранг) илашиш модулининг паст қийматларида, илашиш модулининг катта

қийматларига нисбатан ҳақиқий ва номинал туташув майдонларининг нисбати юқори бўлади.

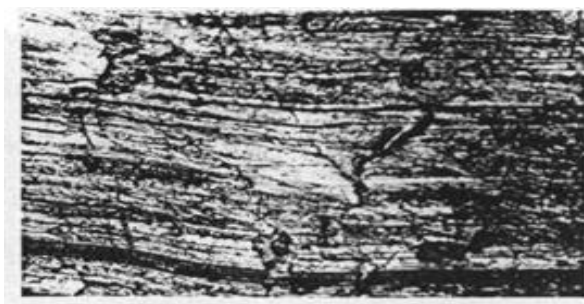
3 -жадвал

**Тишли узатманинг илашиш модулига ва юкламасига боғлиқ бўлган
ҳолда етакловчи ва етакланувчи шестерня тишлари ғадир -
будирлигининг ўзгариши**

Илашиш модули, мм	Тишлар- нинг ейилиш тезлиги, мм/соат	Тишлар- нинг узуниги, мм	Илаш- мадаги юклама, ГН	Келти- рилган эгрилик радиуси, мм	Мослашишдан кейинги сирт ғадир- будирлигининг баландлиги, мкм	
					Етакчи	Етакланувчи
1,0	0,000025	13	0,075	6,33	0,13	0,14
2,0	0,000050	26	0,150	12,66	0,22	0,24
4,0	0,000100	52	0,300	25,32	0,36	0,39
6,0	0,000150	78	0,450	37,98	0,50	0,54
8,0	0,000200	104	0,600	50,64	0,62	0,67
10,0	0,000250	130	0,750	63,30	0,73	0,77
12,0	0,000300	156	0,900	75,96	0,83	0,88

Диссертациянинг учинчи «Шестерня тишлари ейилишбардошлигининг назарий тадқиқотлари» бобида тишли узатма ишлайдиган ишчи муҳитда абразив мавжуд бўлган ва бўлмаганда, шестерня тишлари орасида думалаш ва (ёки) сирпанишли думалаш содир бўлган ҳолатлар учун ейилиш тезлигини ҳисоблаш масалалари ўз ечимини топган.

Абразив заррачаларнинг шестерня тишларига ботиш чуқурлигига боғлиқ бўлган ҳолда тишларнинг туташуш соҳасининг эластик-пластик деформацияси ёки микроқирқиш жараёнлари содир бўлиши мумкин (8-расм).



**8-расм. МТЗ-82 трактори
орқа кўприги шестерняси
абразив заррачалар
иштирокида ейилган тиши
сиртининг микроструктураси
(x250)**

Думалашли сирпанишда агрегат шестернялари тишларининг ейилиш тезлигини ҳисоблашда, агар ейилиш жараёнида абразив заррачалар иштирок этмаган ҳолат учун, агар илашма етакловчи шестернянинг каллаги (пойи) ва етакланувчи шестернянинг пойида (каллагида) содир бўлса, етакловчи (етакланувчи) шестерня тишининг ейилиш тезлиги:

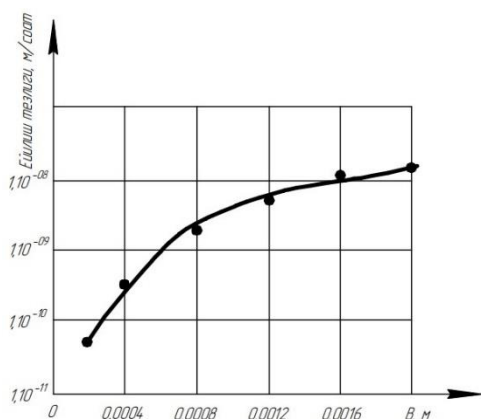
$$\gamma_{\text{дш,к}} = \frac{5807,5 \cdot P \cdot \theta \cdot \gamma_n \cdot n_{\text{ш,к}} \cdot (z_{\text{ш,к}} + k) \cdot \psi_{1,2}}{i \cdot z_{\text{ш,к}}^2 \cdot z_{\text{ш,к}}^2 \cdot n_{\text{рш,к}} \cdot b}, \text{ мм/соат} \quad (17)$$

Бунда P - тишли узатмага қўйилган айлантирувчи куч, Н; θ - эластиклик доимийлиги, 1/МПа; γ_n - таянч сиртларининг қийшайиши натижасида ейилишбардошлигининг пасайиш коэффиценти.

Очиқ тишли узатманинг тишлари орасида думалаш содир бўлганда, ейилиш жараёни тишли илашманинг илашиш кутбида содир бўлади, унда ушбу ҳолат учун ейилиш тезлиги:

$$\gamma_{ак,ш} = \frac{0,000058875 \cdot \varepsilon_6 \cdot \sigma_a^2 \cdot d_{ср}^2 \cdot n_{к,ш} \cdot (6 \cdot H_{к,ш} - \sigma_a)}{H_{к,ш}^3 \cdot n_{рк,ш} \cdot i \cdot L \cdot \gamma_a}, \text{ мм/соат} \quad (18)$$

Ейилиш жараёнида иштирок этувчи абразив заррачанинг ўлчамига боғлиқ бўлмаган ҳолда, Пўлат 65 Г дан ясалган тишли ғилдирак ейилиш жараёнида иштирок этувчи абразив заррачаларнинг ўртача ўлчамидан қатъий назар, унинг ейилиш тезлиги Пўлат 40Х дан ясалган ғилдирак тишининг ейилиш тезлигидан 1,39 марта кам эканлиги аниқланди. Ейилишбардошлик бўйича ушбу ҳолат, илашиш модули, узатишлар нисбати ва тиш узунлигига боғлиқ бўлган ҳолатлар учун ўтказилган тадқиқотларда ҳам ўз тасдиғини топди.



9-расм. Етакловчи шестерня тишларининг туташув кенглигига боғлиқ бўлган ҳолда етакловчи шестерня ейилиш тезлигининг ўзгариши

Етакловчи шестерня ейилиш тезлигининг ўзгариш қонунияти қуйидаги дастлабки маълумотлар асосида олинган: $\theta = 4,23 \cdot 10^{-6} \text{ 1/МПа}$; $n_k = 25,0 \text{ об/с-}^{-1}$; $p = 0,14 \text{ МН}$; $i = 0,308$; $L = 35 \text{ мм}$; $\sigma_{из} = 153,7 \text{ МПа}$; $\psi_{ш} = 126 \%$.

Диссертациянинг тўртинчи «**Тишли ғилдираклар ейилиш-бардошлиги ва ресурсини сиртки мустаҳкамлаш усули билан ошириш самарадорлигини баҳолаш**» бобида тезлаштирувчи ва пасайтирувчи тишли узатма шестернялари тишларининг сиртки қатламига термик ишлов беришнинг ейилишбардошликка таъсири масалалари кўриб чиқилган. Тишли узатма ишлаш жараёнида илашмада иштирок этувчи шестерня тишларининг ейилишбардошлигини аниқловчи омилларга етакловчи ва етакланувчи шестерняларнинг тишлари сони ва илашмада иштирок этувчи узатишлар нисбати ҳисобланади, келтирилган омилларнинг шестерня тишлари ейилишбардошлиги билан бирлаштирилган ифода ейилиш коэффициенти деб аталган. Унинг қийматлари шестернялар тишларининг сонига, узатишлар нисбатига ва сиртни мустаҳкамлаш усулига қараб, илашма етакловчи шестерня каллагига ва етакланувчи шестерня пойида содир бўлса, унинг қиймати бирдан катта бўлади:

$$\lambda = \frac{(z_k + 1)}{i \cdot (z_{ш} - 1)}; \quad (19)$$

агар тишларнинг илашмаси етакловчи шестернянинг пойи ва етакланувчи шестерня тишларининг каллагига содир бўлса, ейилиш коэффициентининг қиймати бирдан кичик бўлади:

$$\lambda = \frac{i \cdot (z_u - 1)}{(z_k + 1)}; \quad (20)$$

агар тишли узатмадаги илашма илашиш кутбида содир бўлса, ейилиш коэффициенти бирга тенг бўлади:

$$\lambda = 1;$$

Агар тишли узатмадаги илашма етакланувчи шестерня каллагига ва етакловчи шестерня пой қисмида содир бўлса ейилиш коэффициенти:

етақланувчи шестернянинг каллагига учун:

$$\lambda = \frac{i \cdot (z_u + 1)}{(z_k - 1)}; \quad (21)$$

етақловчи шестернянинг пой қисми учун:

$$\lambda = \frac{(z_k - 1)}{i \cdot (z_u + 1)}. \quad (22)$$

Тишнинг ейилиш коэффициенти инобатга олинган ҳолда етакланувчи ва етакланувчи шестерняларнинг каллагига ва пой қисми учун ҳисобланган ейилиш тезлиги: етакловчи шестернянинг каллагига (пойи) учун қуйидагича ифодаланади:

$$\gamma_{\text{гн}} = \frac{i \cdot (z_u \pm 1) \cdot \gamma_{\text{нг}}}{(z_k \mp 1)}, \text{ мм/соат} \quad (23)$$

етақланувчи шестерня пойи (каллагига) учун эса қуйидагича ифодаланади:

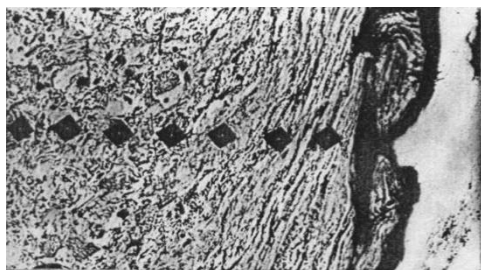
$$\gamma_{\text{нг}} = \frac{(z_k \mp 1) \cdot \gamma_{\text{гн}}}{i \cdot (z_u \pm 1)}, \text{ мм/соат} \quad (24)$$

Етакловчи шестерня пойи ва етакловчи шестерня каллагининг ейилиш тезликларининг нисбати мустаҳкамловчи ишлов беришнинг турига боғлиқ бўлган ҳолда, етакланувчи ва етакловчи тишлар сони узатишлар нисбати 4-жадвалда келтирилган. Тезлаштирувчи узатманинг узатишлар сонининг ортиши, шестернялар тишлари сонининг пасайиши билан етакланувчи шестерня тишларининг ейилиш тезлиги ортади.

Тишли ғилдирак материалларининг ейилишбардошлигидан келиб чиққан ҳолда меъёрланган ресурсини тенглаштириш учун тишли узатманинг геометрик-кинематик кўрсаткичларига боғлиқ ҳолда (узатишлар нисбати, айланишлар частотаси, илашмадаги шестерня тишларининг эгрилик радиуслари, нисбий сирпаниш даражаси) шестерня тишларининг зарур бўлган ейилишбардошлигини таъминловчи ҳажмий қаттиқлигини ва ишқаланиш сиртларининг деформацияланиш чуқурлиги бўйича микроқаттиқлигини аниқлаш (10-расм) муҳим аҳамиятга эга, уларнинг қийматларига боғлиқ бўлган ҳолда ғилдирак тишларининг зарур бўлган ейилишбардошлиги ва ишлатиш шароитидаги ресурси таъминланади.

**Мустаҳкамловчи термик ишлов беришнинг турига боғлиқ бўлган
холда етакланувчи шестерня тиши пойи ейилиш тезлигининг ўзгариши**

$Z_{ш}$	Z_k	Узатишлар нисбати	Етакланувчи тишли ғилдирак тиши пойининг ейилиш тезлиги, м/соат			
			ҳажмий тоблаш	ЮЧТ билан тоблаш	цемен- тация	азотлаш
104	13	0,125	$1,078 \cdot \gamma_{ашг}$	$1,222 \cdot \gamma_{ашг}$	$1,289 \cdot \gamma_{ашг}$	$1,236 \cdot \gamma_{ашг}$
91	13	0,143	$1,078 \cdot \gamma_{ашг}$	$1,221 \cdot \gamma_{ашг}$	$1,288 \cdot \gamma_{ашг}$	$1,235 \cdot \gamma_{ашг}$
78	13	0,167	$1,077 \cdot \gamma_{ашг}$	$1,220 \cdot \gamma_{ашг}$	$1,287 \cdot \gamma_{ашг}$	$1,234 \cdot \gamma_{ашг}$
65	13	0,200	$1,072 \cdot \gamma_{ашг}$	$1,215 \cdot \gamma_{ашг}$	$1,281 \cdot \gamma_{ашг}$	$1,229 \cdot \gamma_{ашг}$
52	13	0,250	$1,068 \cdot \gamma_{ашг}$	$1,210 \cdot \gamma_{ашг}$	$1,276 \cdot \gamma_{ашг}$	$1,224 \cdot \gamma_{ашг}$
39	13	0,333	$1,060 \cdot \gamma_{ашг}$	$1,201 \cdot \gamma_{ашг}$	$1,266 \cdot \gamma_{ашг}$	$1,215 \cdot \gamma_{ашг}$
26	13	0,500	$1,047 \cdot \gamma_{ашг}$	$1,186 \cdot \gamma_{ашг}$	$1,251 \cdot \gamma_{ашг}$	$1,200 \cdot \gamma_{ашг}$
13	13	1,000	$1,005 \cdot \gamma_{ашг}$	$1,166 \cdot \gamma_{ашг}$	$1,201 \cdot \gamma_{ашг}$	$1,152 \cdot \gamma_{ашг}$



**10-расм. МТЗ-82 трактори
орқа кўпригининг пасайтирувчи
етақланувчи шестернясининг
абразив заррачалар иштирокида
ейилган тиши кесимининг
микроструктурасининг ва
микроқаттиқлигининг ўзгариши
(х340)**

Шестерня тишларининг қаттиқлигини ҳисоблаш учун қуйидаги аналитик
ифода таклиф этилган:

$$H_{ш,к} = 9,93 \cdot \varepsilon_k \cdot \sigma_a \sqrt{\frac{d_{ср} \cdot \Gamma_{ш,к} \cdot n_{ш} \cdot (i+1) \cdot k_v \cdot \psi_{1,2} \cdot P}{i \cdot b \cdot z_{ш,к} \cdot n_{рш,к}}}, МПа \quad (25)$$

бунда P – тишли ғилдиракнинг меъёрланган ресурси, соат.

Пасайтирувчи узатмада етакланувчи тишли ғилдирак тиши
қаттиқликларини тезлаштирувчи узатма ғилдирак тишларининг
қаттиқликларига солиштириш орқали амалга оширилди.

Ёпиқ ва очик тишли узатмалар ейилиш тезликларини ҳисоблаш ҳажмий
тоблаш, юқори частотали ток билан тоблаш, цементациялаш ва азотлаш каби
термик ишлов берилган узатма ғилдираклари учун амалга оширилди.

Диссертациянинг «**Тишли узатмаларнинг ейилишбардошлик бўйича
тажриба тадқиқотларини намуналарда ўтказиш ва тишли
ғилдиракларнинг ейилишбардошлилигини ва ресурсини оширишдан
олинган иқтисодий самарадорликни ҳисоблаш**» деб номланган бешинчи
бобида роликли намуналар ёрдамида ўтказилган тадқиқотларда шестерня
тишларининг ишлаши моделлаштирилган ва ейилишбардошликка синаш
маромлари танланган; намуналарни ейилишга синаш давомийлиги ва синашни

тезлаштириш коэффициенти баҳоланган; шестерня тишлари учун тайёрланган намуналарни ейилишбардошликка синаш усули ёритилган ва синаш натижалари келтирилган; тракторлар трансмиссияси агрегатларига захира қисмлар сифатида тишли ғилдиракларга бўлган эҳтиёж ҳисобланган ҳамда тишли узатма ресурсининг ошиши натижасида олинган иқтисодий самарадорлик аниқланган.

Қорақолпоғистон Республикаси автомобил йўлларида узлуксиз фойдаланиш унитар корхонасига жорий этилган очик ва ёпиқ тишли узатмаларни ейилишбардошлигини ва ресурсини юқори частотали ток ва азотлаш билан оширишдаги иқтисодий самарадорлик аниқлаш қуйидагилар назарда тутилган ҳолда аниқланди.

Унитар корхонасида фойдаланиладиган машина, ускуна ва қурилма куч узатиш агрегатларининг очик ва ёпиқ тишли узатмалари атроф муҳитнинг юқори чанглилик даражасида ва ёпиқ агрегат мойида абразив заррачалар мавжуд бўлган шароитларда ишлайди.

Шу сабабли тишли ғилдираклар ишлаб чиқилгандан сўнг уларнинг ишчи сиртларида, юқори частотали ток билан тоблаш тишли ғилдиракларнинг ейилишбардошлиги ҳажмий тоблашга нисбатан 1,75 марта, ёпиқ тишли узатмаларининг тишли ғилдираклари азотлаш, ғилдирак тишларининг ейилишбардошлигини центациялашга нисбатан 1,31 марта ошириш имконини берди.

Шестерня тишларининг сиртига термик ишлов бериш ва термик ишлов берилгандан сўнг унинг сифатини текшириш деталнинг ўлчамига ва мураккаблигига боғлиқ ҳолда 1 – 6 соатни ташкил қилди, мустаҳкамладиган очик тишли узатмалар учун бу вақт 3 соатни, азотлашга сарфланган ўртача вақт бир пайтда 20 та қопладиган детал учун 21,5 соатни ташкил қилди.

Очик ва ёпиқ тишли узатмалар учун эҳтиёт қисмларни ишлаб чиқаришга сарфланган харажат илашиш модули 4 мм да мос ҳолда 280 000 ва 390 000 сўмни ташкил қилади.

Ишчиларнинг иш ҳақи харажатлари, ойлик иш ҳақи режали штат бўйича термист учун ойига 3 миллион сўмни ташкил қилади, у ҳолда термистнинг очик ва ёпиқ тишли ғилдиракларни юқори частотали ток билан тоблаш ва азотлашдаги йиллик меҳнат ҳақи 36 миллион сўмни ташкил қилади.

Сарфланган электр энергияси ва ичимлик сув харажатлари ҳам эътиборга олинганда Қорақолпоғистон Республикаси автомобиль йўлларида узлуксиз фойдаланиш унитар корхонасининг йиллик очик ва ёпиқ тишли ғилдиракларни сиртқи термик ишлов бериш умумий харажатлари йилига 105231,8 минг сўмга тенг.

Тадқиқот натижаларини ишлаб чиқаришга жорий этишда олинган йиллик иқтисодий самара 578562,8 минг сўмни ташкил қилди.

ХУЛОСАЛАР

1. Ёпиқ тишли узатмали агрегатлар шестерняларидан фойдаланиш даврида агрегат мойидаги абразив заррачаларнинг чегаравий миқдори 0,57 % дан, очик тишли ғилдиракнинг қаттиқлиги 58-62 HRC бўлганда, муҳитнинг чегаравий чанглилик даражаси 0,86 г/см³ дан ортиқ бўлмаслиги асосланган.

2. Сферик ва кесик конус шаклидаги моделларнинг ўзаро мутаносиблиги ғадир-будирликларнинг ботиш чуқурликларини ва ейилиш жараёнида ҳосил бўлган туташув доғларининг тенглик шартига асосланган, ғадир-будирлик бўртламасини моделлаштириш услубияти яратилган.

3. Абразив заррачалар иштирокидаги ейилишда шестернялар тишлари орасида сирпаниш бўлмаганда, ишқаланиш сиртида кратер шаклидаги чуқурчалар ҳосил бўлишига олиб келиши, тишли узатманинг илашиш қутбидаги ейилиш энг кичик қийматга эга бўлиши аниқланган.

4. Тезлаштирувчи узатманинг узатишлар нисбати 0,125 дан 1,000 гача ўзгарганда етакланувчи шестерня тиши пойи ва етакловчи шестерня тиши каллаги абразив заррачалар иштирокидаги ейилиш тезлигининг ўртача қиймати 6,78% га юқорилиги; ейилишда абразив заррача иштирок этмаганда эса, унинг ўртача қиймати 7,38% га пасайиши аниқланган.

5. Пасайтирувчи узатмада узатишлар нисбати 8 дан 1 гача ўзгарса, етакланувчи шестерня тишининг пойи ва етакловчи шестерня тиши каллаги абразив заррачалар иштирокисиз ейилиш тезликларининг нисбатининг ўртача қиймати 6,28% га ортишига ва ейилиш абразив заррачалар иштирокида содир бўлганда, унинг ўртача қиймати 6,67% га пасайишига олиб келган.

6. Илашма етакловчи шестерня тишининг каллаги ва етакланувчи шестерня тишининг пойида содир бўлса, шестерня намуналари ейилишнинг ўртача қиймати 1,43 мартага; илашма етакланувчи шестерня тишининг каллаги ва етакловчи шестерня тишларининг пойида содир бўлса, намуналар ейилишнинг ўртача қиймати 1,44 мартага ортишини кўрсатган.

7. Очик тишли узатма намуналари ейилишга синалганда, илашма етакловчи шестерня тишининг каллаги ва етакланувчи шестерня тишининг пойида содир бўлса, унда ейилишнинг ўртача қиймати 2,42 мартага; илашма тишининг каллаги ва етакловчи шестерня тишининг пойида содир бўлса, ейилишнинг ўртача қиймати 2,31 мартага юқори бўлиши аниқланган.

8. Очик ва ёпиқ тишли узатмаларга сиртқи термик ишлов бериш натижасида ғилдирак тишларининг ейилишбардошлиги ҳажмий тоблашда юқори частотали ток билан тоблашдаги, цементациялашдаги ва азотлашдаги ўртача қийматидан 1,52 мартага юқорилигини кўрсатган.

9. Тадқиқот натижаларини ишлаб чиқаришга жорий этишда олинган йиллик иқтисодий самара 578562,8 минг сўмни ташкил қилди.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.03/30.12.2019.К/Т.03.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИТАРНОГО
ПРЕДПРИЯТИЯ «ФАН ВА ТАРАККИЁТ» ПРИ ТАШКЕНТСКОМ
ГОСУДАРСТВЕННОМ ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ ИМЕНИ
ИСЛАМА КАРИМОВА**

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
«ФАН ВА ТАРАККИЁТ»
ТАШКЕНТСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА имени ИСЛАМА КАРИМОВА**

ИРГАШЕВ БЕХЗОД АМИРКУЛОВИЧ

**РАЗРАБОТКА МЕТОДОЛОГИИ ПОВЫШЕНИЯ
ИЗНОСОСТОЙКОСТИ И РЕСУРСА ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС
АГРЕГАТОВ МАШИН, РАБОТАЮЩИХ В АБРАЗИВНОЙ СРЕДЕ,
ПОВЕРХНОСТНОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ**

**05.02.01 – Материаловедение в машиностроении. Литейное производство.
Термическая обработка и обработка металлов давлением. Металлургия черных,
цветных и редких металлов (технические науки)**

**АВТОРЕФЕРАТ
ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК (DSc)**

Тема докторской диссертации (DSc) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан под номером B2024.DSc/T851.

Диссертация выполнена в государственном унитарном предприятии «Фан ва тараққиёт» Ташкентского государственного технического университета имени Ислама Каримова.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице по адресу: www.gurft.uz и информационно-образовательном портале Ziyonet по адресу: www.ziyonet.uz.

Научный консультант: Шаабидов Шорахмат Аскаревич
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: Улмасов Тулкин Усманович
доктор технических наук, с.н.с.
Тураходжаев Нодир Джахангирович
доктор технических наук, профессор
Каршиев Мамарайм Санаевич
доктор технических наук, доцент

Ведущая организация: Каршинский инженерно - экономический институт

Защита диссертации состоится «20» февраля 2025 г. в 14³⁰ часов на заседании Научного совета DSc.03/30.12.2019.K/T.03.01 при ГУП «Фан ва тараққиёт» Ташкентского государственного технического университета имени Ислама Каримова. (Адрес: 100174, Ташкент, ул. Мирзо Голиба 7а. Тел.: (99871)246-39-28, факс: (99871) 227-12-73; 246-02-24. E-mail: fanvataraqqiyot@mail.ru в здании ГУП «Фан ва тараққиёт», 2-й этаж, зал конференций).

С докторской диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре ГУП «Фан ва тараққиёт» (зарегистрирован за №41 -24). (Адрес: 100174, Ташкент, ул. Мирзо Голиба 7а. Тел.: (99871)246-39-28, факс: (99871) 227-12-73).

Автореферат диссертации разослан «10» февраля 2025 года.
(протокол рассылки № 41-24 от «12» ноября 2024 года)

**С.С. Негматов**
Председатель Научного совета по присуждению ученых степеней,
доктор технических наук, профессор, академик АН РУз

М.Э. Икрамова
Ученый секретарь Научного совета по присуждению ученых степеней,
доктор технических наук, старший научный сотрудник

Н.Х. Талипов
Председатель научного семинара при научном совете по присуждению
учёных степеней, д.т.н., профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора наук (DSc))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире с каждым днем с целью увеличения износостойкости и долговечности деталей для продления срока службы машин и механизмов возрастает потребность к разработке методов повышения ресурса зубчатых колес машинных агрегатов, работающих в абразивной среде, путем наружной термической обработки. В связи с этим, в частности, определение факторов, влияющих на износостойкость и ресурс зубчатых передач машинных агрегатов, разработка метода определения величины износа зубьев ведомой и ведущей шестерен по соотношению скоростей их износа, расчет твердости зубьев, работающих в абразивной среде, а также создание и внедрение методов повышения их рабочего ресурса за счет наружной термической обработки имеет особое значение.

В мире ведутся научно-исследовательские работы по повышению износостойкости и ресурса зубчатых колес машинных агрегатов, работающих в абразивной среде, определению факторов, влияющих на износостойкость зубьев шестерен, открытых и закрытых ускоряющих и замедляющих зубчатых передач, и разработке методов повышения их срока службы поверхностной термической обработкой. В этом аспекте, в частности, системное повышение функциональных показателей машин, уровня работы, качества и надежности их механизмов и агрегатов трансмиссии, разработка метода выбора типа поверхностной термической обработки в зависимости от модуля зубчатых колес, передаточного отношения передач, твердости зубьев и абразивной среды имеет важное значение.

В республике проводятся научно-исследовательские работы и достигаются определенные результаты с целью повышения работоспособности и износостойкости рабочих органов машин и механизмов, производимых с использованием органоминеральных ингредиентов на основе местного и вторичного сырья, определения влияния природно-климатических условий на рабочий ресурс используемых машин и работоспособность, а также эффективность зубчатых колес агрегатов трансмиссии. В стратегии дальнейшего развития Нового Узбекистана определены важные задачи по «...продолжению промышленной политики, направленной на обеспечение стабильности национальной экономики и увеличение доли промышленности в валовом внутреннем продукте, увеличение объемов производства промышленной продукции...». В связи с этим, большое значение имеет разработка методики повышения износостойкости и ресурса зубчатых колес машинных агрегатов, работающих в абразивной среде, путем поверхностной термической обработки.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных в Указах и Постановлениях Президента Республики Узбекистан от 5 октября 2020 года №УП-6079 «Об утверждении стратегии «Цифровой Узбекистан - 2030» и мерах по ее эффективному осуществлению», от 29 октября 2020 года №УП-6097 «Об утверждении

концепции развития науки до 2030 года», от 29 марта 2023 года № ПП-103 «О дополнительных мерах по стимулированию обеспечения аграрного сектора современными сельскохозяйственными машинами», а также в других нормативно-правовых документах, принятых в этой сфере.

Соответствие исследования основным приоритетным направлениям развития науки и технологии Республики Узбекистан. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий республики П. «Энергетика, энерго- и ресурсосбережение».

Обзор зарубежных научных исследований по теме диссертации. В мире проводятся широкомасштабные научные исследования, направленные на совершенствование технологий наружной термической обработки деталей машин, в частности зубчатых колес, и разработку методики повышения износостойкости и рабочего ресурса зубчатых колес машинных агрегатов, работающих в абразивной среде, за счет термической обработки, проводятся в ведущих научных центрах и высших учебных заведениях мира, в том числе: “U.S.Smelting Refining and Mining Co” (США), “Reykin Piston of Tokio” (Япония), “European Association of Alloy” (Бельгия), “Московский институт стали и сплавов” (МИСИС, Россия), “Киевский политехнический институт” КПИ, Украина), “Белорусский государственный технический университет” (БГТУ, Беларусь), Institute of Materials Science (США), Institute of Materials Science and Engineering (Германия), Materials Science Institute (Англия), Institute of Materials Science of Barcelona (Испания), National Institute for Materials Science (Япония), The Erich Schmid institute of materials science of the Austrian academy of sciences (Австрия), Institute of Materials Science (Литва), Институт механики полимеров АН Латвии, Научно-исследовательский институт синтетических полимерных материалов имени Н.С.Ениколопова РАН, Ташкентский государственный технический университет ГУП “Фан ва тараккиёт” (Узбекистан).

В мире во всех отраслях промышленности в целях повышения работоспособности, эффективности и долговечности рабочих органов машин и механизмов достигнут ряд научных результатов по повышению износостойкости и ресурса зубчатых колес машинных агрегатов, работающих в абразивной среде, в том числе: разработан способ повышения виброустойчивости цементированных зубчатых колес трактора в период эксплуатации (БГТУ, Беларусь); разработан и внедрен способ повышения износостойкости зубьев шестерен за счет образования диффузионного слоя при газотермоциклическом азотировании технического железа (ТулГТУ, Россия); разработана технология осуществления азотирования, используемая в защитных целях (УралГУ, Екатеринбург, Россия); создана новая технология азотирования, используемая в процессе изготовления зубчатых колес (ХПИ, Харьков, Украина); разработана установка для легирования сталей лазерным нагревом и азотированием (МАДИ, Россия) создана технология, основанная на воздействии термогазоциклического процесса азотирования (МГТУ,

Россия), достигнуто повышение эффективности методов наружной термической обработки ресурса открытых, закрытых и ускоряющих (понижающих) зубчатых колес автомобилей, тракторов и дорожно-строительных машин Institute of Materials Science (США), Institute of Materials Science and Engineering (Германия), Institute of Materials Science Institute (Англия), Institute of Materials Science of Barcelona (Испания), National Institute for Materials Science (Япония), The Erich Schmid institute of materials science of the Austrian academy of sciences (Австрия), ГУП "Фан ва тараккиёт" Ташкентского государственного технического университета имени Ислама Каримова (Узбекистан).

В мире ведутся исследовательские работы по таким приоритетным направлениям, как определение оптимальных составов, физико-механических, технологических и эксплуатационных свойств компонентов, применяемых при их изготовлении для повышения износостойкости и рабочего ресурса деталей и агрегатов машин и механизмов, разработанных на основе вторичного сырья и техногенных отходов, определение и научное обоснование механизмов протекания технологических процессов, разработка методики повышения износостойкости и рабочего ресурса зубчатых колес машинных агрегатов, работающих в абразивной среде, путем наружной термической обработки, в частности, определение изменений механизмов технологических процессов, происходящих в деталях специальной техники, работающей в абразивной среде, с целью повышения износостойкости и ресурса работы рабочих агрегатов специальной техники, используемой в автомобильных дорогах и сельском хозяйстве, обоснование эксплуатационных и физико-механических свойств агрегатов машин и механизмов, разработка деталей, отвечающих современным требованиям промышленности, обеспечивающих долговечность для использования в производственных условиях и широко применяемых в автомобильной и сельскохозяйственной отраслях.

Степень изученности проблемы. В мировой практике износ деталей агрегатов трансмиссии машин и повышение их ресурса проводились в исследованиях ряда ученых, таких как I. Dudas, V.V. Konchits, M. Braunovic, G. Kazkaz, M. Puppala, Дж. Шрайбфедер, В.П. Онищенко, С. А. Корнилович, исследованиями, направленными на повышение износостойкости и ресурса открытых и закрытых передач машинных агрегатов занимались ряд зарубежных ученых Sun Hong, Chang Xiaofang, Wang Shuren, Yan Yutao, Ding Jinyuan, Q. J. Wang, J. Wojnarowski, М.М. Tenenbaum, Ю.Н. Дроздов, В.В. Гриб, И.В. Сокол, С. А. Корнилович, Д.Н. Гаркунов, Г.И. Скудин, М.И. Городецкий и др., ученые нашей страны У.А. Икрамов, К.Х. Махкамов, Ш.А. Шообидов, А.И. Иргашев, Р.У. Шукуров и другие внесли достойный вклад в создание и разработку методов, позволяющих снизить износ деталей механизмов.

Исходя из анализа существующих работ, можно сказать, что в этих исследованиях недостаточно изучены вид упрочняющей обработки и

механические свойства материалов деталей, а также шероховатость поверхности для случаев наличия и отсутствия абразивных частиц в составе рабочей среды. Данная диссертационная работа направлена на поиск решения именно этих проблем.

Связь темы диссертации с научно-исследовательскими работами высшего образовательного учреждения или научно-исследовательскими институтами, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в соответствии с планами научно-исследовательских работ ГУП “Фан ва тараққийёт” при Ташкентском государственном техническом университете в рамках фундаментальных и прикладных проектов по темам: №15-004 «Экстренная диагностика технического состояния деталей агрегатов силовых передач машин и механизмов без их разборки в период эксплуатации» (2009-2012), №Ф-2-27 «Разработка научных основ повышения износостойкости зубчатых передач агрегатов мобильных машин и промышленного оборудования» (2012-2016), в соответствии с планами научно-исследовательских работ кафедры “Сопротивление материалов и детали машин” ТашГТУ (2010 – 2023).

Целью исследования является разработка методологии повышения износостойкости и ресурса шестерен понижающей и ускоряющей закрытых и открытых передач агрегатов машин с применением поверхностной термической обработки.

Задачи исследования:

анализ факторов, влияющих на износостойкость и ресурс зубчатых передач машинных агрегатов;

анализ факторов, влияющих на износостойкость и ресурс открытых и закрытых, ускоряющих и понижающих зубчатых передач;

теоретическое исследование взаимосвязи скоростей износа зубьев колес открытых и закрытых передач термообработанных поверхностно-укрепляющих машинных агрегатов, работающих в условиях скольжения и качения;

исследование износостойкости и ресурсоэффективности зубьев колес, армированных методами поверхностной термической обработки;

определение износостойкости зубьев передач с помощью роликовых образцов-аналогов, проведение экспериментальных испытаний и определение экономической эффективности.

Объектом исследования являются открытие и закрытие, ускоряющие и понижающие зубчатые передачи агрегатов трансмиссии машин.

Предметом исследования являются факторы, влияющие на износостойкость зубьев колес агрегатов машин в абразивной среде, методология их определения, а также выбор методов упрочнения контактных поверхностей.

Методы исследований. При выполнении диссертационной работы использованы методы статистического анализа, теории вероятностей, теории надежности и изнашивания, основанной на прочности и усталости материала

детали, происходящей на поверхностях трения, с участием и без участия абразивных частиц.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

разработана и обоснована научно-теоретическая концепция для исследования износостойкости зубьев колес, работающих в абразивной среде, основанная на равности общей скорости изнашивания к скоростям изнашивания с участием абразивных частиц и без них;

разработана методология определения взаимного соотношения технологической и равновесной шероховатостей поверхностей трения зубьев шестерен;

разработана методика определения предельной запыленности окружающего воздуха при использовании открытой и концентрации абразивных частиц в масле агрегата закрытой зубчатой передачи;

разработана теоретическая методика определения посредством соотношения скоростей изнашивания значения износа зубьев ведущей и ведомой шестерен;

разработана методика определения геометрических и кинематических параметров, влияющих на износостойкость зубьев шестерен с участием и без участия абразивных частиц при качении и качении с проскальзыванием;

создана методика расчета скорости износа зубьев, открытых и закрытых зубчатых колес при качении и скольжении;

установлены аналитические зависимости расчета твердости зубьев, позволяющие определить вид упрочняющей термической обработки, зависящий от износостойкости и ресурса ведомой шестерни;

разработана методика определения ресурса зубчатого колеса на основе толщины поверхностно упрочненного слоя.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

разработана методика выбора жесткости и износостойкости зубьев ведущих и ведомых шестерен ускоряющих и понижающих передач с целью определения механизма износа зубьев шестерен;

установлены износостойкость, ресурс и толщина армированного слоя зубчатых колес, упрочненных методами объемной закалки, закалки током высокой частоты, цементации и азотирования, поверхностной термической обработки в процессе эксплуатации машинных агрегатов.

Достоверность результатов исследования. Достоверность результатов исследования обосновывается с применением и созданием современных методов и средств исследования, а также компьютерных программ, соразмерностью результатов теоретических и экспериментальных исследований, направленных на повышение износостойкости и ресурса зубьев шестерен.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследования заключается в разработке методики оценки износостойкости и ресурса ускоряющих и понижающих зубчатых колес, определении значений технологических и сбалансированных

показателей шероховатости поверхности зубьев шестерен на этапах проектирования, производства и эксплуатации машинных агрегатов.

Практическая значимость результатов исследования заключается в обосновании возможности повышения износостойкости и ресурса зубьев ведомого зубчатого колеса путем объемной закалки, закалки током высокой частоты, цементации и азотирования, оценки степени скольжения и шероховатости поверхностей зубьев шестерен, повышения износостойкости и ресурса зубьев ведомого зубчатого колеса, а также использования результатов исследований для повышения износостойкости и ресурса других типов передач.

Внедрение результатов исследования. На основе результатов проведенных исследований по разработке методов повышения износостойкости и ресурса зубчатых колес агрегатов машин, работающих в абразивных средах, с использованием поверхностной термической обработки:

работы по замене материала шестерен открытой передачи экскаваторов, автомобилей и дробилок сталью 40Х на сталь 65 Г внедрены в практику на унитарном предприятии «Регулярное использование автомобильных дорог Республики Каракалпакстан» (справка №03/67 Главного управления автомобильных дорог Республики Каракалпакстан от 10 января 2023 г.). В результате, появилась возможность увеличить износостойкость шестерен до 31% и ресурс до 35%;

процессы замены объемной закалки на высокочастотную закалку в открытых зубчатых передачах специальной техники, участвующей в производстве дорожно-строительных материалов, внедрены в практику на унитарном предприятии «Регулярное использование автомобильных дорог Республики Каракалпакстан» (справка №03/67 Главного управления автомобильных дорог Республики Каракалпакстан от 10 января 2023 г.). В результате, появилась возможность увеличить износостойкость и ресурс открытых зубчатых передач специальной техники на 33-37%;

процессы закалки шестерен открытых зубчатых передач высокочастотным током вместо объемной закалки внедрены в практику на унитарном предприятии «Регулярное использование дорог Республики Каракалпакстан» (справка №03/67 Главного управления автомобильных дорог Республики Каракалпакстан от 10 января 2023 г.). В результате, появилась возможность увеличить ресурс агрегатов трансмиссии на 28-32% за счет снижения количества закрытых зубчатых колес, преждевременно пришедших в негодное состояние в результате интенсивного износа, до 55-60%.

Апробация результатов исследования. Результаты исследования докладывались и прошли обсуждение на 16 конференциях, в том числе на 6 международных и 10 республиканских конференциях.

Опубликованность результатов исследования. По теме диссертации опубликовано 38 научных работ, из них 17 статей в научных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских

диссертаций, в том числе 11 в зарубежных и 6 в республиканских журналах, опубликовано 3 монографии и получено 2 свидетельства на программные продукты.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы и приложения. Объем диссертации составляет 171 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обосновывается актуальность и востребованность выполненных исследований, цель и задачи исследования, характеризуется объект и предметы, показано соответствие исследований приоритетным направлениям науки и технологий республики, излагается научная новизна и практическая значимость полученных результатов, внедрение в практику результатов исследований, приводятся сведения по опубликованным научным работам и структуре диссертации.

В первой главе диссертации **«Анализ факторов, влияющих на износостойкость и ресурс зубчатых передач агрегатов машин»** подробно описаны виды износа и повреждений, возникающих в процессе эксплуатации шестерен машинных агрегатов. Неисправности, возникающие в результате износа или поломки зубчатых колес машинных агрегатов, требуют длительного простоя и больших затрат материальных ресурсов для восстановления их работоспособности.

При поверхностной термической обработке толщина цементированного слоя составляет 0,5-2,0 мм, толщина азотированного слоя 0,3-0,6 мм, они не всегда обеспечивают ресурс, предусмотренный для зубчатых колес машинных агрегатов. Кроме того, в процессе поверхностного упрочнения зубьев шестерни, при резком охлаждении или нагреве происходит увеличение и неравномерное распределение внутренних остаточных напряжений. Происходят закалка трещин, искривление деталей, изменение механических свойств материала зубьев шестерен.

Во второй главе диссертации **«Факторы, влияющие на износостойкость и ресурс шестерен, работающих в условиях эксплуатации»** приведены разработанные теоретические основы, обоснованные анализом факторов, влияющих на износостойкость и ресурс шестерен, наибольшее количество неисправностей, возникающие в коробке передач, заднего моста и дополнительной конечной передачи происходят в результате износа и повреждения зубчатых колес, валов, подшипников качения и полуосей.

Анализ простоя колесных тракторов марки тракторов 100 К.11 ТТЗ, показывает о том, что простой тракторов происходил из-за неисправности агрегатов трансмиссии, при этом возникшие неисправности составили по коробке передачи 13%, по заднему мосту 14% (от общего времени простоя

автомобиля на ремонте). Потеря дохода из-за сверх нормативного простоя тракторов составил 39% (табл.1).

Таблица 1

Распределение дефектов в заменяемых деталях агрегатов трансмиссии колесного трактора 100 К.11 ТТЗ в течении одного межремонтного цикла эксплуатации

Дефекты рабочих поверхностей деталей	Заменяемые детали агрегатов трансмиссии по наличию дефектов, %			
	зубчатые колеса	шлицевые валы	подшипники качения	полуоси заднего моста
Износ предельный	47,8	9,8	40,4	10,3
Пластическая деформация	9,1	41,9	13,6	69,7
Схватывание	19,5	-	8,9	-
Выкрашивание питтинг поверхности	13,1	3,5	22,3	-
Деформация при кручении	1,5	18,5	-	-
Хрупкое разрушение	5,2	13,0	10,4	20,0
Прочие виды возникновения отказов	3,8	13,3	4,4	-
Всего	100	100	100	100

Данные, приведенные в табл. 1 показывают, что в результате попадания абразивной пыли в масла агрегатов в процессе эксплуатации трактора 100К.11 ТТЗ, заменённые из-за износа зубьев шестерен по толщине составляют 48,4%.

За один межремонтный период эксплуатации тракторов 19,5% шестерен заменялись из-за возникновения схватывания на головке и ножке зубьев, где происходит наибольшее проскальзывание. По меньшей мере зубчатые колеса выходят из строя из-за пластической деформации, хрупкого разрушения и деформации при кручении.

Дефекты валов трансмиссии возникают в основном в результате пластической деформации шлицевых соединений, деформации при кручении, хрупкого разрушения и износа зубьев шлиц по толщине.

Превалирующими отказами подшипников качения, приводящие к замене: из-за износа колец и тел качения - 40,4%; выкрашивание - питтинг поверхности - 22,3% и пластической деформации – 13,6%.

Подавляющее большинство полуоси заднего моста заменяются в процессе эксплуатации машин из-за пластической деформации шлицевой части - 69,7% и хрупкого разрушения стержня полуоси – 20%.

Результаты расчета относительного скольжения, возникающего между зубьями шестерни, приведены в таблице 2, значения которого могут быть различными для головки и основания зубьев шестерни.

Коэффициент относительного проскальзывания учитывает наличие скольжения между зубьями шестерен на их головках и ножках. Расчетное значение коэффициента относительного проскальзывания зубьев шестерен определяется по ниже приведенному выражению:

$$\psi = \sqrt{z_{\text{ш}}^2 \cdot \sin^2 \alpha + 4 \cdot k \cdot z_{\text{ш}} \pm 4 \cdot k^2} - z_{\text{ш}} \cdot \sin \alpha, \quad (1)$$

где $z_{\text{ш}}$ - число зубьев ведущей шестерни; α - угол зацепления; k - коэффициент высоты зубьев.

Таблица 2

Изменение коэффициента относительного скольжения зубьев шестерен относительно коэффициента высоты зацепления k

k	0,000	0,167	0,333	0,500	0,667	0,833	1,000
$z_{\text{ш}}$	Коэффициент проскальзывания зубьев шестерен для головки зуба ведущей шестерни, ψ						
11	0,000	0,873	1,645	2,331	2,967	3,559	4,115
15	0,000	0,908	1,706	2,439	3,125	3,759	4,367
19	0,000	0,920	1,748	2,513	3,236	3,906	4,566
23	0,000	0,929	1,776	2,571	3,311	4,016	4,695
27	0,000	0,936	1,795	2,611	3,378	4,115	4,808
31	0,000	0,940	1,812	2,639	3,425	4,184	4,902
$z_{\text{ш}}$	Коэффициент проскальзывания зубьев шестерен для ножки зуба ведомой шестерни, ψ						
11	0,000	0,849	1,565	2,169	2,695	3,165	3,597
15	0,000	0,889	1,642	2,309	2,907	3,448	3,937
19	0,000	0,905	1,692	2,404	2,865	3,636	4,184
23	0,000	0,917	1,730	2,469	3,155	3,788	4,386
27	0,000	0,923	1,757	2,525	3,236	3,891	4,525
31	0,000	0,927	1,776	2,564	3,300	3,984	4,651

В целях упрощения выражения для расчета скорости изнашивания зубьев шестерен при наличии проскальзывания введен коэффициент, показывающий соотношение твердости материала зубьев ведущей и ведомой шестерен:

$$\Gamma_{w,k} = \frac{3(H_{w,k} \sigma_a - \sigma_a^2)^{1/2}}{H_{w,k}} + 4 \cdot \left(\frac{\sigma_a}{H_{w,k}} \right)^{1/2}, \quad (2)$$

где $H_{\text{ш},k}$ - твердость материала ведущей (ведомой) шестерни; σ_a - прочность на сжатие абразивной частицы.

Значения нормального напряжения сжатия, приводящего к разрушению абразивной частицы, находящейся в клиновидном зазоре зубьев, рассчитывается выражением:

$$\sigma_a = \left(\frac{4P_a}{\pi d_{cp}^2} \right), \text{ МПа} \quad (3)$$

где P_a - нормальная сила, действующая на абразивной частице, Н; d_{cp} - средней размер абразивной частицы, мм.

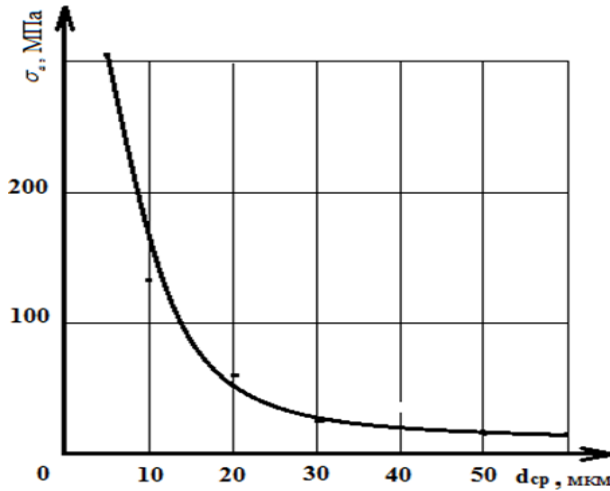


Рис. 1. Изменение прочности абразивных частиц на сжатие в зависимости от размера абразивных частиц

По зависимости, представленной на рис. 1, можно судить о том, что с повышением размера абразивных частиц нормальное сжимающее напряжение, приводящее к разрушению абразивной частицы, снижается.

Это обстоятельство указывает на то, что мелкие абразивные частицы, участвующие в процессе износа в масле, опасны с точки зрения износостойкости.

Для расчета количества абразивных частиц, участвующих в процессе накопления износа в масле агрегата при постоянной степени герметичности картера агрегата и запыленности окружающей среды в условиях эксплуатации машин, можно предложить следующее выражение:

$$\varepsilon_k = k_1 \cdot \delta_z - \varepsilon_o = \frac{\delta_z \cdot (2 \cdot k_1 - B \cdot (k_1 - 1) \cdot (k_1 - (k_1 - 2) \cdot B))}{2} \quad (4)$$

где δ_z - количества абразивных частиц выпадающих в масла агрегата за один оборот ведомой шестерни; B - доля раздробленных абразивных частиц выпадающих в масла агрегата, за один оборот ведомой шестерни.

Изменение количества абразивных частиц, попадающих в масло агрегата из окружающей среды за один оборот ведомой шестерни, определяется следующим соотношением:

$$\delta_z = \frac{\varepsilon_{об}}{N}, \quad (5)$$

где N - количество оборотов ведомой конической шестерни за один срок замены масла агрегата.

Доля раздробленных абразивных частиц в масле агрегата за один цикл нагружения ведомой шестерни определяется выражением:

$$B = \frac{2 \cdot n_1 \cdot m \cdot d_{cp} \cdot \delta_z \cdot \gamma_m \cdot k_p}{G_m} \quad (6)$$

где n_1 - количества пар зубчатых колес окунающихся в масле; m - модуль зацепления, мм; γ_m - плотность масла г/см³; G_m - количества масла заливаемое в картер агрегата, кг.

Наличие масляной пленки между абразивной частицей и поверхностями трения зубьев шестерен приводит к снижению коэффициента трения, в результате чего наибольший размер абразивных частиц, проникающих в клиновидный зазор между зубьями шестерен, уменьшается:

$$d_{\max m} = d_{\max c} - 2h_a, \quad (7)$$

где $d_{\max c}$ - максимальный размер абразивной частицы, проникающей в клиновидный зазор зубьев шестерен; h_a - толщина масляной пленки между зубьями шестерен.

Коэффициент трения при наличии масляной пленки между зубьями шестерен:

$$f_{мен} = f_{can}^2 - \frac{(\rho_w + \rho_k)^2 + \rho_w \cdot \rho_k \cdot f_{can}^2 - h_a^2}{\rho_w \cdot \rho_k}, \quad (8)$$

где f_{can} - коэффициент трения между поверхностями трения зубьев; ρ_w - радиус кривизны профиля ведущей шестерни в точке контакта, мм; ρ_k - радиус кривизны профиля ведомой шестерни в точке контакта, мм.

Значение коэффициента трения скольжения при сухом трении определяется из выражения:

$$f_{can} = \frac{3,11 \cdot \left(1 - \sqrt{1 - 6 \cdot (c \cdot \sigma_T \cdot \theta)^2}\right)}{c \cdot \sigma_T \cdot \theta}. \quad (9)$$

где, c - коэффициент деформации; σ_T - предел текучести материала зубчатого колеса, МПа; θ - упругая постоянная. 1/МПа.

Размер абразивных частиц, проникающих в клиновидный зазор между зубьями шестерен при наличии масляной пленки:

$$d_{\max m} = \left((\rho_w + \rho_k)^2 + \rho_w \cdot \rho_k \cdot f_{can}^2 \right)^{1/2} - (\rho_w + \rho_k) \cdot \text{мм} \quad (10)$$

В процессе изнашивания зубьев шестерен могут участвовать те абразивные частицы, размер которых должен составлять не менее толщины масляной пленки, т.е.

$$d_{\min} = h_{\min} + s_c, \text{ мм}. \quad (11)$$

Где $h_{\min}$ - минимальная толщина масляной пленки между зубьями шестерен, мм; s_c - величина упругой деформации поверхностей трения зубьев шестерен, мм.

Средний размер абразивных частиц, участвующих в процессе изнашивания зубьев шестерен:

$$d_{cp} = \sqrt{d_{\max} \cdot d_{\min}}, \text{ мм} \quad (12)$$

Обеспечение заданной износостойкости зубьев колеса зависит от модуля зацепления, геометрико-кинематических параметров зубчатой передачи, механических свойств и скорости износа зубьев шестерни, а также размера абразивных частиц, участвующих в процессе износа.

$$\varepsilon_{ш.к} = \frac{0,212 \cdot H_{ш.к}}{\sigma_a} \cdot \sqrt{\frac{\gamma_{аш.к} \cdot \operatorname{tg} \delta \cdot b \cdot z_{ш.к} \cdot n_{пр.к}}{d_{ср} \cdot \Gamma_{ш.к} \cdot n_{ш.к} \cdot m \cdot (\operatorname{tg} \delta + 1) \cdot k_v \cdot \psi_{1,2}}} \quad (13)$$

Таким образом, результаты расчетов показывают, что при обеспечении износостойкости зубьев шестерен содержание абразивных частиц в масле не должно превышать 0,54% и 0,60% соответственно для ведущих и ведомых шестерен.

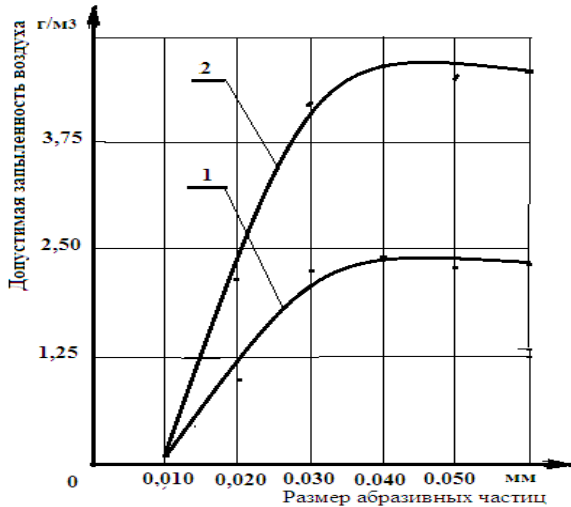


Рис. 2. Изменение предельно допустимой концентрации абразивных частиц ведомого зубчатого колеса в зависимости от размера абразивных частиц: 1 – сталь 40Х; 2-сталь – 65 Г

Предельный уровень запыленности среды, в которой работает открытая зубчатая передача, рассчитывается по формуле:

$$[\varepsilon_6] = \frac{[\gamma_{ак}^2] \cdot H_{\kappa}^4 \cdot n_{\rho\kappa}^2 \cdot \gamma_a \cdot z_{\kappa}^2 \cdot z_{ш}^2 \cdot L^2 \cdot i^2}{4,52 \cdot k_a \cdot m^3 \cdot \sigma_a^4 \cdot \Gamma_{\kappa}^2 \cdot d_{ср} \cdot n_{\kappa}^2 \cdot (z_{\kappa} - k)^2 \cdot \psi_2^2} \quad (14)$$

Предельное значение скорости изнашивания зубьев определяется по предельному износу зубьев по толщине, значение которого согласно рекомендациям ГОСНИТИ предлагается принимать в пределах 20-25% от шага зубчатого зацепления. В данном случае, с учетом степени ответственности работы зубчатого зацепления предельный износ по толщине зубьев шестерен принято 20% от шага зацепления. Тогда значение предельного износа зубьев ведомого зубчатого колеса по толщине зубьев равно:

$$[U_n] = 0,1 \cdot \pi \cdot m, \text{ мм} . \quad (15)$$

Скорость изнашивания зубьев ведомого зубчатого колеса с модулем зацепления $m=3$ мм, с долговечностью 500 часов составляет:

$$[\gamma_{ак}] = \frac{0,1 \cdot \pi \cdot m}{T_6} = \frac{0,1 \cdot 3,14 \cdot 0,0003}{500} = 0,0001884, \text{ мм/час} \quad (16)$$

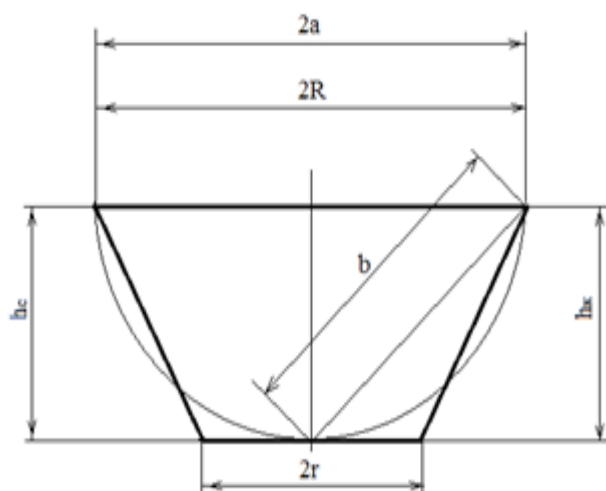


Рис.3. Схема модели шероховатости поверхности зуба в виде усеченного конуса, выполненной, на основе модели шероховатости в сферической форме

Используемая сферическая модель имеет некоторые недостатки, шероховатость расположена последовательно по длине и ширине поверхности трения. В действительности же расположение такой шероховатости не имеет никаких стандартных закономерностей.

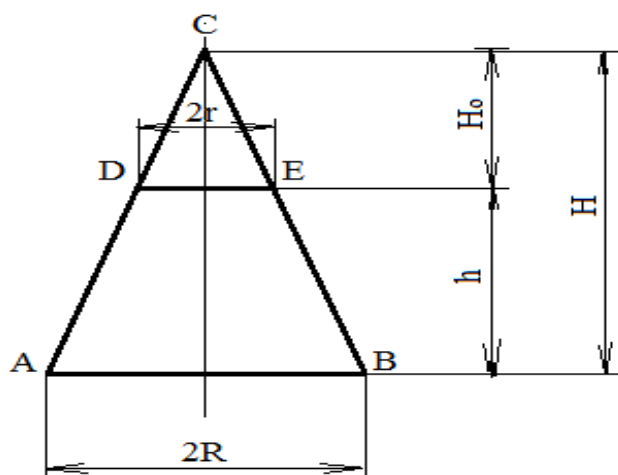


Рис. 4. Схема расчета высоты выступа технологической шероховатости

В выпуклостях шероховатости, моделируемых в конической форме, они образуют стыковую поверхность. Когда их значение не превышает предела прочности, они образуют контактную поверхность, которая увеличивается в процессе контакта. Сглаженная шероховатость, образующаяся в бунже, имеет форму усеченного конуса.

В рельефах шероховатости, моделируемых в конической форме, в процессе работы при устойчивых нагрузках, не превышающих прочности на сжатие поверхностей трения шестерен, образуется равномерно возрастающее контактное поле.

Полученная модель сбалансированной шероховатости имеет форму усеченного конуса.

В процессе трения моделей, имеющих сферическую и усеченную коническую форму, обеспечение равенства объема деформации и скорости изнашивания поверхностей трения зубьев шестерен проводилось по схеме, представленной на рис. 4. Установлено, что высота равновесной

шероховатости h составляет 0,69 от высоты технологической шероховатости H . В результате погружения выступа зубчатого колеса в поверхность контртела образуется контактное пятно диаметром $2R$.

Часть технологической шероховатости, равная $H-h$, подвергается износу в процессе приработки. По результатам расчетов, приведенных в таблице 3, шероховатость поверхности зуба с модулем зацепления 1 мм соответствует 8 классу шероховатости для ведущего колеса и 7 классу шероховатости для ведомого зубчатого колеса.

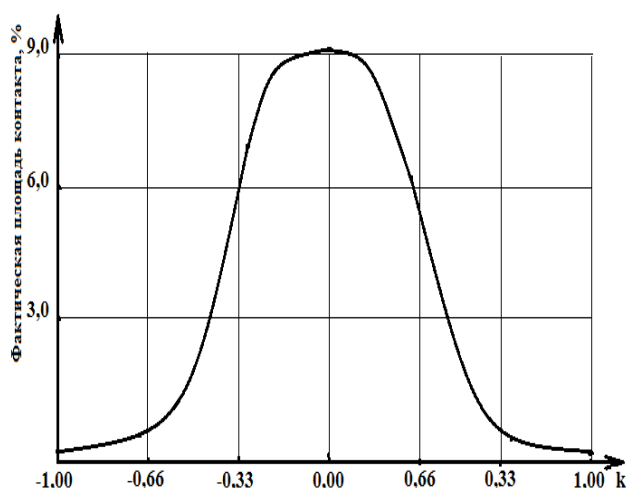


Рис.5. Изменение фактической площади контакта зубьев шестерен в зависимости от коэффициента высоты зуба

Зависимость, приведенная на рис. 5, показывает, что увеличение фактической контактной поверхности шестерни в зависимости от коэффициента высоты зуба близка к почти симметричной форме.

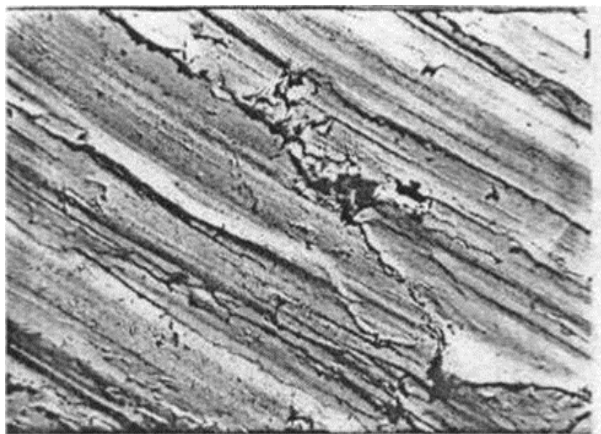


Рис. 6. Микроструктура поверхностей трения головки (ножки) изношенного зуба заднего моста трактора МТЗ-82 (x250)

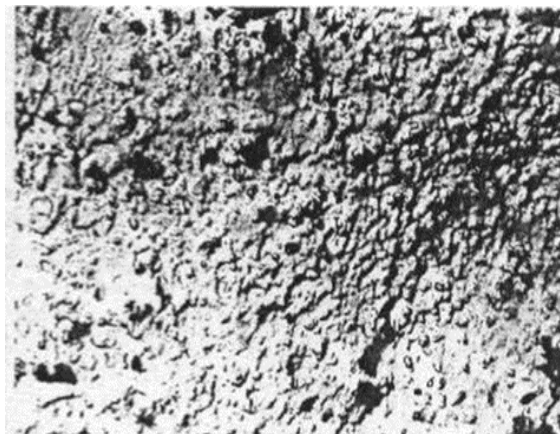


Рис.-7. Микроструктура зоны полюса зацепления изношенного зуба заднего моста трактора (x250)

Наибольшая фактическая площадь контакта, когда зацепление происходит между головкой и ножкой зубьев шестерен, наименьшая фактическая площадь контакта происходит в полюсе зацепления (см. рис.6, 7).

Изменение шероховатости зубьев шестерен в зависимости от модуля зацепления и нагрузки в зубчатой передаче

Модуль зацепления, мм	Скорость изнашивания зубьев, мм/час	Длина зубьев, мм	Нагрузка в зацеплении, ГН	Приведенный радиус кривизны, мм	Высота выступов шероховатостей после приработки поверхностей, мкм	
					Ведущей шестерни	Ведомого колеса
1,0	0,000025	13	0,075	6,33	0,13	0,14
2,0	0,000050	26	0,150	12,66	0,22	0,24
4,0	0,000100	52	0,300	25,32	0,36	0,39
6,0	0,000150	78	0,450	37,98	0,50	0,54
8,0	0,000200	104	0,600	50,64	0,62	0,67
10,0	0,000250	130	0,750	63,30	0,73	0,77
12,0	0,000300	156	0,900	75,96	0,83	0,88

В третьей главе диссертации «Теоретические исследования износостойкости зубьев шестерен» решаются задачи расчета скорости изнашивания для случаев, когда в рабочей среде зубчатой передачи имеется абразив и при его отсутствии происходит качение и (или) скольжение между зубьями шестерни.

В зависимости от глубины погружения абразивных частиц в зубья шестерни могут происходить процессы упругопластической деформации или микрорезания зоны контакта зубьев (рис. 8).

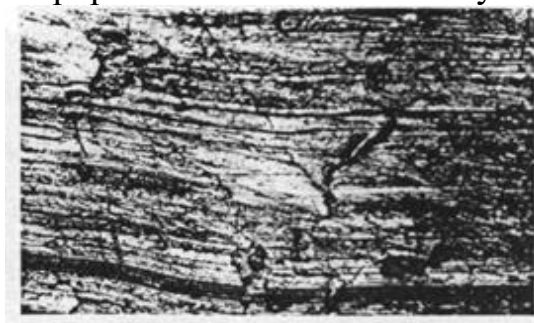


Рис. 8. Микроструктура поверхности изношенного зуба шестерни заднего моста трактора МТЗ-82 с участием абразивных частиц (x250)

При расчете скорости изнашивания зубьев шестерен агрегата при качении, если в процессе изнашивания не участвуют абразивные частицы, если зацепление происходит на головке (ножке) ведущей шестерни и на ножке (головке) ведомой шестерни, скорость изнашивания зуба ведущей (ведомой) шестерни:

$$\gamma_{\text{дш,к}} = \frac{5807,5 \cdot P \cdot \theta \cdot \gamma_n \cdot n_{\text{ш,к}} \cdot (z_{\text{ш,к}} + k) \cdot \psi_{1,2}}{i \cdot z_{\text{ш,к}}^2 \cdot z_{\text{з,к}}^2 \cdot n_{\text{рш,к}} \cdot b}, \text{ мм/час} \quad (17)$$

где P – вращающая сила приложенная для вращения зубчатой передачи, Н; θ – упругая постоянная, 1/МПа; γ_n – коэффициент снижения износостойкости зубчатого колеса, из-за перекоса опорных поверхностей;

При качении между зубьями открытой зубчатой передачи процесс износа происходит в полюсе зацепления зубчатого зацепления, в котором скорость износа для данного случая:

$$\gamma_{ак,ш} = \frac{0,000058875 \cdot \varepsilon_a \cdot \sigma_a^2 \cdot d_{ср}^2 \cdot n_{к,ш} \cdot (6 \cdot H_{к,ш} - \sigma_a)}{H_{к,ш}^3 \cdot n_{рк,ш} \cdot i \cdot L \cdot \gamma_a}, \text{ мм/час} \quad (18)$$

Независимо от среднего размера абразивных частиц, участвующих в процессе изнашивания износостойкость зубчатого колеса, изготовленное из стали 65 Г в 1,39 раза больше, чем зубчатого колеса из стали 40Х. Данное положение подтверждается также при испытании на износостойкость в зависимости от модуля зацепления, передаточного отношения и длины зуба.

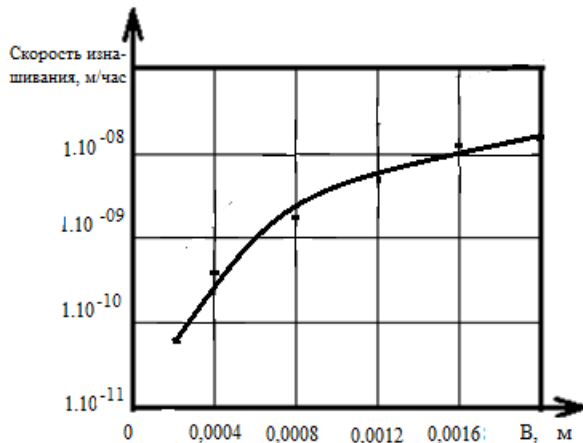


Рис. 9. Изменения скорости изнашивания зоны качения зубьев ведущей шестерни в зависимости от ширины контакта зубьев шестерен

Зависимость изменения скорости изнашивания зоны качения зубьев ведущей шестерни представленной на основе следующих исходных данных: $\theta = 4,23 \cdot 10^{-6} \text{ 1/МПа}$; $n_k = 25,0 \text{ об/с}$; $p = 0,14 \text{ МН}$; $i = 0,308$; $L = 0,035 \text{ м}$; $\sigma_{из} = 153,7 \text{ МПа}$; $\psi_{ш} = 126 \text{ \%}$.

В четвертой главе диссертации «Оценка эффективности повышения износостойкости зубьев шестерен методами поверхностного упрочнения» рассматривается влияние методов поверхностного термического упрочнения на износостойкость зубьев шестерен ускоряющих и понижающих передач. К факторам, определяющих износостойкость зубьев шестерен в процессе работы зубчатой передачи, относится число зубьев ведущей и ведомой шестерен, участвующие в зацеплении и передаточное отношения передачи, объединив влияние указанных факторов на износостойкость зубьев шестерен, ввели понятие коэффициент износа. Его значение в зависимости от числа зубьев шестерен, передаточного отношения и вида поверхностного упрочнения составляет при зацеплении головки зуба ведущей и ножки зуба ведомой шестерни больше единицы:

$$\lambda = \frac{(z_k + 1)}{i \cdot (z_{ш} - 1)}; \quad (19)$$

если зацепление зубьев происходит между головкой зуба ведомой и ножкой зуба ведомой шестерни, значение которого составляет меньше единицы:

$$\lambda = \frac{i \cdot (z_{ш} - 1)}{(z_k + 1)}; \quad (20)$$

когда зацепление зубьев шестерен происходит в полюсе зацепления коэффициент износа равен единице:

$$\lambda = 1;$$

Если зацепление в зубчатой передаче происходит между головкой зуба ведомой и ножкой зуба, ведущей шестерен, коэффициент износа равен: для головки зуба ведомой шестерни:

$$\lambda = \frac{i \cdot (z_{ш} + 1)}{(z_{к} - 1)}; \quad (21)$$

для ножки зуба ведущей шестерни:

$$\lambda = \frac{(z_{к} - 1)}{i \cdot (z_{ш} + 1)}. \quad (22)$$

Скорость износа, рассчитанная для головки и ножки ведомой и ведомой шестерен с учетом коэффициента износа зуба: для головки (ножки) ведомой шестерни выражается следующим образом:

$$\gamma_{гн} = \frac{i \cdot (z_{ш} \pm 1) \cdot \gamma_{нг}}{(z_{к} \mp 1)}, \text{ мм/час} \quad (23)$$

для ножки (головка) зуба ведомой шестерни:

$$\gamma_{нг} = \frac{(z_{к} \mp 1) \cdot \gamma_{гн}}{i \cdot (z_{ш} \pm 1)}, \text{ мм/час} \quad (24)$$

Соотношение скоростей износа ножки ведущей шестерни и головки ведущей шестерни в зависимости от вида армирующей обработки, передаточное отношение числа ведомых и ведущих зубьев приведено в табл.4. С увеличением числа передач ускоряющей передачи и уменьшением числа зубьев шестерен увеличивается скорость износа зубьев ведомой шестерни.

Таблица 4

Изменение скорости изнашивания ножки зуба ведомой шестерни в зависимости от вида упрочняющей обработки

Z _ш	Z _к	Передаточное отношение	Скорость изнашивание ножки зуба ведомого зубчатого колеса, м/час			
			объемная закалка	закалка ТВЧ	цементация	азотирование
104	13	0,125	$1,078 \cdot \gamma_{аишг}$	$1,222 \cdot \gamma_{аишг}$	$1,289 \cdot \gamma_{аишг}$	$1,236 \cdot \gamma_{аишг}$
91	13	0,143	$1,078 \cdot \gamma_{аишг}$	$1,221 \cdot \gamma_{аишг}$	$1,288 \cdot \gamma_{аишг}$	$1,235 \cdot \gamma_{аишг}$
78	13	0,167	$1,077 \cdot \gamma_{аишг}$	$1,220 \cdot \gamma_{аишг}$	$1,287 \cdot \gamma_{аишг}$	$1,234 \cdot \gamma_{аишг}$
65	13	0,200	$1,072 \cdot \gamma_{аишг}$	$1,215 \cdot \gamma_{аишг}$	$1,281 \cdot \gamma_{аишг}$	$1,229 \cdot \gamma_{аишг}$
52	13	0,250	$1,068 \cdot \gamma_{аишг}$	$1,210 \cdot \gamma_{аишг}$	$1,276 \cdot \gamma_{аишг}$	$1,224 \cdot \gamma_{аишг}$
39	13	0,333	$1,060 \cdot \gamma_{аишг}$	$1,201 \cdot \gamma_{аишг}$	$1,266 \cdot \gamma_{аишг}$	$1,215 \cdot \gamma_{аишг}$
26	13	0,500	$1,047 \cdot \gamma_{аишг}$	$1,186 \cdot \gamma_{аишг}$	$1,251 \cdot \gamma_{аишг}$	$1,200 \cdot \gamma_{аишг}$
13	13	1,000	$1,005 \cdot \gamma_{аишг}$	$1,166 \cdot \gamma_{аишг}$	$1,201 \cdot \gamma_{аишг}$	$1,152 \cdot \gamma_{аишг}$

Для выравнивания нормированного ресурса исходя из износостойкости материалов зубчатых колес важное значение имеет определение объемной жесткости зубьев шестерен и микротвердости по глубине деформации поверхностей трения (рис.10), обеспечивающих необходимую износостойкость зубьев шестерен в зависимости от геометрико-кинематических показателей зубчатой передачи (отношение передач, частота вращения, радиусы кривизны зубьев шестерен в зацеплении, относительная степень скольжения), в зависимости от их значений обеспечивается необходимая износостойкость и ресурс зубьев колес в условиях эксплуатации.

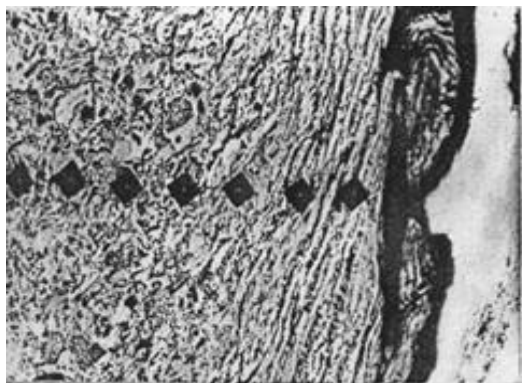


Рис. 10. Изменение микроструктуры и микротвердости в сечение изношенного зуба понижающей ведомой шестерни заднего моста трактора МТЗ-82 с участием абразивных частиц (х340)

Для расчета жесткости зубьев шестерни предложено следующее аналитическое выражение:

$$H_{ш,к} = 9,93 \cdot \varepsilon_k \cdot \sigma_a \sqrt{\frac{d_{ср} \cdot \Gamma_{ш,к} \cdot n_{ш} \cdot (i+1) \cdot k_v \cdot \psi_{1,2} \cdot P}{i \cdot b \cdot z_{ш,к} \cdot n_{рш,к}}}, МПа \quad (25)$$

где P – нормированный ресурс зубчатого колеса, час.

В понижающей передаче твердость зубьев ведомого зубчатого колеса сравнивали с твердостью зубьев зубчатых колес ускоряющей передачи. Расчет скоростей износа закрытых и открытых зубчатых передач проводился для колес передач, подвергнутых такой термической обработке, как объемная закалка, закалка током высокой частоты, цементация и азотирование.

В пятой главе диссертации **«Экспериментальные исследования износостойкости зубчатых передач на образцах и расчет экономической эффективности от повышения износостойкости и ресурса зубчатых колес»** приведены результаты исследований, проведенных с использованием роликовых образцов, моделирована работа зубьев шестерни и выбраны режимы испытания на износостойкость; оценена продолжительность испытания образцов на износ и коэффициент ускорения испытания; освещен метод испытания на износостойкость образцов, изготовленных для зубьев шестерни, и представлены результаты испытаний; рассчитана потребность в зубчатых колесах в качестве запасных частей агрегатов трансмиссии тракторов и определена экономическая эффективность, полученная в результате увеличения ресурса зубчатой передачи.

Экономический эффект от внедрения закалки током высокой частоты и азотирования для повышения износостойкости и ресурса открытых и

закрытых зубчатых передач машин определялись от внедрения в «Унитарном предприятии по регулярному использованию автомобильных дорог Республики Каракалпакстан». Открытые и закрытые зубчатые передачи силовых агрегатов машин, оборудования и устройств, используемых на унитарном предприятии, работают в условиях высокой запыленности окружающей среды и наличия абразивных частиц в масле закрытого агрегата.

Поэтому после разработки зубчатых колес на их рабочих поверхностях закалка током высокой частоты позволила повысить износостойкость зубчатых колес в 1,75 раза по сравнению с объемной закалкой, а азотирование зубчатых колес закрытых зубчатых передач в 1,31 раза по сравнению с центрированием.

Термическая обработка поверхности зубьев шестерни и проверка ее качества после термической обработки в зависимости от размеров и сложности детали составила 1 - 6 часов, для закрепляемых открытых зубчатых передач это время составило 3 часа, среднее время, затраченное на азотирование, составило 21,5 часа для 20 одновременно покрываемых деталей.

Затраты на производство запасных частей для открытых и закрытых зубчатых передач составляют 280 000 и 390 000 сум соответственно при модуле сцепления 4 мм. Затраты на заработную плату рабочих, месячная заработная плата по плановому штату составляет 3 млн. сумов в месяц для термиста, тогда годовая заработная плата термиста по закалке и азотированию открытых и закрытых зубчатых колес высокочастотным током составляет 36 млн. сумов.

С учетом затрат на потребляемую электроэнергию и питьевую воду, общие годовые затраты на наружную термическую обработку открытых и закрытых зубчатых колес унитарного предприятия по бесперебойной эксплуатации автомобильных дорог Республики Каракалпакстан составляют 105231,8 тыс. сумов в год.

Годовой экономический эффект от внедрения результатов исследования в производство составил 578562,8 тыс. сум.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Обосновано, что в период эксплуатации агрегатов с закрытыми зубчатыми передачами предельная концентрация абразивных частиц в масле составляет 0,57 %, при твердости открытых зубчатых колес 58-62 HRC, предельная запыленность окружающей среды не должен превышать 0,86 г/см³.

2. Разработана взаимосвязь при моделировании выступа шероховатости в виде сферического и усеченного конуса форм в условиях их равенства по высоте, позволяет рассчитать глубины внедрения и пятна контакта, возникающее в процессе изнашивания.

3. Определено, что износ зубьев шестерен с участием абразивных частиц, происходящих в отсутствии проскальзывания, в связи с образованием кратер образных лунок, приводит к наименьшему износу в полюсе зацепления.

4. Определено, что при изменении передаточного числа ускоряющей передачи от 0,125 до 1,000 средняя скорость износа зуба ведущей шестерни и зуба ведомой шестерни с участием абразивных частиц, увеличивается на 6,78%, а без их участия, уменьшается на 7,38 %.

5. При изменении передаточного отношения понижающей передачи от 8 до 1, соотношение скорости износа зуба ведущей и зуба ведомой шестерен без участия абразивных частиц в среднем увеличивается на 6,28 %, а при участии абразивных частиц, уменьшается в среднем на 6,67 %.

6. Показано, что, когда зацепление происходит между головкой зуба ведущей и ножкой зуба ведомой шестерни, износ образцов увеличивается в среднем 1,43 раза, если зацепление происходит между головкой зуба ведомой и ножкой зуба ведущей шестерни, износ зубьев шестерен, увеличивается в среднем 1,44 раза.

7. Определено испытанием образцов, моделирующих открытых зубчатых передач установлено, что их износ повысится в среднем 2,42 раза, когда зацепление происходит между головкой зуба ведущей и ножкой зуба, ведомой шестерен, а при зацеплении головки зуба ведомой и ножкой зуба, ведущей шестерен, износ зуба шестерен в среднем повысится 2,31 раза.

8. Установлено повышение в среднем 1,52 раза износостойкости зубьев шестерен, открытых и закрытых зубчатых передач при поверхностной объемной закалке, чем при закалке током высокой частоты, цементации и азотировании.

9. Общий годовой экономический эффект, полученных от внедрения результатов исследования составляет 578562,8 тыс. сум

**TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY
NAMED AFTER ISLAM KARIMOV
SCIENTIFIC COUNCIL AWARDING SCIENTIFIC DEGREES
DSc.03/30.12.2019.K/T.03.01 AT STATE UNITARY ENTERPRISE
«FAN VA TARAKKIYOT»**

**STATE UNITARY ENTERPRISE «FAN VA TARAKKIYOT»
TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY
NAMED AFTER ISLAM KARIMOV**

IRGASHEV BEKHZOD AMIRKULOVICH

**DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR INCREASING THE
WEAR RESISTANCE AND RESOURCE OF GEAR WHEELS OF
MACHINE UNITS OPERATING IN AN ABRASIVE ENVIRONMENT,
SURFACE HEAT TREATMENT**

05.02.01 – Materials science in mechanical engineering. Foundry production. Heat treatment and handling of metals pressure. Metallurgy of ferrous, non-ferrous and rare metals (technical sciences)

**DISSERTATION ABSTRACT
OF DOCTOR OF TECHNICAL SCIENCES (DSc)**

Tashkent – 2025

The theme of dissertation of Doctor of Science (DSc) was registered at the Supreme Attestation Commission at the Ministry of Higher Education, Science and Innovations of the Republic of Uzbekistan under the number B2024.4.DSc/T851.

The dissertation has been prepared at the Tashkent State Technical University named after Islam Karimov at State Unitary Enterprise «Fan va tarakkiyot».

The thesis abstract in three languages (Uzbek, Russian, English (summary)) is placed on the web page at: www.gupft.uz and information-educational portal Ziyonet at: www.ziyonet.uz.

Scientific consultant:

Shaabidov Shorakhmat Askarovich
doctor of technical sciences, professor

Official opponents:

Ulmasov Tulqin Usmanovich
doctor of technical sciences, s.r.a.

Turaxujayev Nodir Djaxongirovich
doctor of technical sciences, professor

Karshiev Mamaraim Sanaevich
doctor of technical sciences, dotsent

Leading organization:

Karshi Engineering and Economic Institute

Thesis defense will take place on «20» February 2025 at 14³⁰ the meeting of Scientific council DSc.03/30.12.2019.K/T.03.01at Tashkent State technical university named after Islam Karimov at State unitary enterprise «Fan va tarakkiyot» (Address: 100174, Tashkent city, Almazar district, Mirzo Golib street, 7a. Tel/fax: (99871) 246-39-28/(99871) 227-12-73, e-mail: fan_va_taraqqiyot@mail.ru).

The dissertation can be reviewed at the Information Resource Center of the State unitary enterprise «Fan va tarakkiyot» (is registered under №41-24). Address: 100174, Tashkent city, Almazar district, Mirzo Golib street, 7a. Tel/fax: (99871) 246-39-28/(99871) 227-12-73

Abstract of dissertation sent out on «10» February 2025 y.
(Mailing report № 41-24 on «12» November 2024 y.).



S.S. Negmatov
Chairman of the scientific council for the award degrees,
Academician of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan,
doctor of technical sciences, professor

M.E. Ikramova
Scientific secretary of the scientific council
awarding scientific degrees,
doctor of technical sciences, s.r.a

N.X. Talipov
Chairman of the academic seminar under the
scientific council awarding scientific degrees,
doctor of technical sciences, professor

INTRODUCTION (abstract of (DSc) thesis)

The aim of the research work is to develop a methodology for increasing the wear resistance and resource of gear reducing and accelerating closed and open transmissions of machine units using surface heat treatment.

The object of the research work is the opening and closing, accelerating and decreasing gear transmissions of machine transmission units.

The scientific novelty of the research is as follows:

a scientific and theoretical concept for studying the wear resistance of wheel teeth operating in abrasive environments, based on the equality of the total wear rate to the wear rates with and without abrasive particles, has been developed and substantiated;

a methodology for determining the relationship between the technological and equilibrium roughness of the friction surfaces of gear teeth has been developed;

a method for determining the maximum air filling when using open and the concentration of abrasive particles in the oil of a closed gear unit has been developed;

a theoretical method for determining the wear value of the teeth of the driving and driven gears by the ratio of wear rates has been developed;

a method for determining geometric and kinematic parameters affecting the wear resistance of gears with and without the participation of abrasive particles during rolling and rolling with slipping has been developed;

a methodology for calculating the wear rate of teeth, open and closed gears during rolling and sliding has been developed;

analytical dependencies for calculating the hardness of teeth have been established, which allow determining the type of hardening heat treatment, depending on the wear resistance and resource of the driven gear;

a method for determining the resource of a gear wheel based on the thickness of the surface hardened layer has been developed.

Implementation of the research results. Based on the results of research on the development of methods for increasing the wear resistance and resource of gear wheels of machine units operating in abrasive environments using surface heat treatment:

works on the replacement of the material of gears of open transmissions of excavators, automobiles and crushers made of steel 40X with steel 65G were put into practice at the unitary enterprise «Regular Use of Roads of the Republic of Karakalpakstan» (reference №03/67 of the Main Directorate of Roads of the Republic of Karakalpakstan dated January 10, 2023). As a result, it became possible to increase the wear resistance of gears to 31% and the resource to 35%;

the processes of replacing volumetric quenching with high-frequency quenching in open gear transmissions of special equipment involved in the production of road construction materials have been introduced into practice at the unitary enterprise «Regular Use of Roads of the Republic of Karakalpakstan» (reference №03/67 of the Main Directorate of Roads of the Republic of Karakalpakstan dated January 10, 2023). As a result, it became possible to increase the wear resistance and resource of open gears of special equipment by 33-37%;

the processes of hardening the gears of open gears with a high-frequency current instead of volumetric hardening have been introduced into practice at the unitary enterprise «Regular Use of Roads of the Republic of Karakalpakstan» (certificate №03/67 of the Main Directorate of Roads of the Republic of Karakalpakstan dated January 10, 2023). As a result, it became possible to increase the service life of transmission units by 28-32% by reducing the number of closed gears that have prematurely deteriorated due to intensive wear to 55-60%.

The structure and volume of the thesis. The structure of the dissertation consists of an introduction, five chapters, a conclusion, a list of references, and appendices. The volume of the dissertation is 171 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (I часть) (I part)

1. Иргашев А., Иргашев Б.А. Износостойкость зубчатых передач Монография – Т.: ТашГТУ, 2013 С-169.
2. Мирзаев К.К., Иргашев А., Иргашев Б.А. Повышение износостойкости зубчатых передач Монография – Т.: ТашГТУ, 2015 С-175.
3. Иргашев А., Иргашев Б.А. Износ деталей силовых передач машин, работающих в абразивной среде Монография –Тошкент 2021. 214 с.
4. Иргашев А., Иргашев Б.А. Прогнозирование расхода запасных частей машин по содержанию продуктов износа в масле //Журнал «Трение и износ», Минск. 2015 г, Том 36, №5. С.577-585.
5. Irgashev A., Irgashev B.A. Forecasting the Consumption of Spare Parts in Machines Based on the Content of Wear Particles in Oil Journal of Friction and Wear 2015, Vol.36, No 5pp 441-445 Allerton Press, Inc., 2015.
6. Мирзаев К.К., Иргашев А., Иргашев Б.А. Оценка модуля зацепления зубчатых передач по износостойкости //Вестник ТашГТУ № 2, 2015. –С.147-152.
7. Абдазимов А.Д., Иргашев А., Иргашев Б.А. Факторы, влияющие на допустимую концентрацию активных абразивных частиц в масле агрегатов машин //Журнал «Сборка в машиностроении и приборостроении». 2016, №1 (186). С. 30-38 (05.00.00; №70).
8. Иргашев А., Иргашев Б.А. Оценка износа деталей агрегатов машин по содержанию продуктов износа в масле //Журнал «Сборка в машиностроении и приборостроении». 2016, №10 (195). С. 30-38 (05.00.00; №70).
9. Шаабидов Ш.А. Иргашев Б.А. Обоснование размера абразивных частиц, удерживающихся на поверхности зуба открытой передачи //Вестник ТашГТУ № 3, 2018.–С.117-122.
10. Irgashev B.A. Geometric and kinematic parameters of conical gears // International journal of advanced research in science, engineering and technology. India. Vol.6, Issue 4, April 2019 – pp.8885-8889.
11. Shaabidov Sh.A., Irgashev B.A. Computatinal Hrocedure of a Gearing Module of Spur Gear Transmissions on Wear Resistance of Gearwheel Teeth // Journal of Friction and Wear, Allerton Press. 2019, Vol. 40, No. 5, - pp. 567-574.
12. Ишмуратов Х.К., Иргашев Б.А. Оценка износостойкости зубьев шестерен открытой зубчатой передачи в условиях высокой запыленности// Журнал “Трение и износ” 2020 Том 41. с.112-119.
13. Irgashev A.I, Ishmuratov X.K, Irgashev B.A., Ishmuratova K.X. Estimation of the size of abrasive particles involved in the wear process of gear teeth //International Journal of Advanced Science and Technology Vol 29. 2020, pp.1917-1930.

14. Irgashev A.I., Irgashev B.A., Zhumanov R.M. Method for calculating the wear resistance of gear teeth of vehicle transmission // International Journal of Advanced Science and Technology Vol. 29, No. 11, 2020, pp. 1909-1916.

15. Иргашев А., Иргашев Б.А. Зависимость шероховатости зубьев шестерен от параметров зубчатого зацепления // Илм-фан ва инновацион ривожлантириш журнали, №4 2021. с.101-111.

16. Иргашев А., Иргашев Б.А. Трансмиссия агрегатлари композиция деталларини ишлатиш шароитида ёйилиши // Композицион материаллар №3 2021 с.74-79 (05.00.00; №13).

17. Иргашев А., Иргашев Б.А. Неисправности агрегатов колесных машин, возникающих в условия эксплуатации // UNIVERSUM Технические науки. Вып. 5(86) 2021 Часть 1 М. 2021 с.84-88.

18. Иргашев Б.А., Жуманов Р.М. Конуссимон роликли подшипник элементларининг ёйилишбардошлиги //Илм-фан ва инновацион ривожлантириш журнали, №4/2022 с.55-70.

19. Иргашев А., Иргашев Б.А. Выбор свойств материала зубьев шестерен на основе износостойкости // Наука и инновационное развитие 3 / 2022 с. 36-46.

20. Иргашев А., Иргашев Б.А. Взаимосвязи скоростей изнашивания зубьев между ведущей и ведомой шестерен // Наука и инновационное развитие 5 / 2021 С. 62-73.

II бўлим (II часть) (II part)

1. Мирзаев К.К., Иргашев А., Иргашев Б.А. Определение длины зуба шестерени по износостойкости. Материалы международной конференции INNOVATION с.153-154 2015.

2. Иргашев А., Иргашев Б.А. Допустимая концентрация абразивных частиц в масле агрегатов машин. Материалы Республиканской научно-технической конференции «Перспективы развития композиционных материалов и нано композиционных материалов» 11-12 ноября 2016 г. ГУП «Фан ва тараққийёт».

3. Иргашев Б.А. Определение допустимой концентрации активных абразивных частиц в масле агрегатов машин в зависимости от длины зуба и механических свойств материала шестерен. Автомобили и тракторостроение. Материалы Международной конференции. Белорусский национальный технический университет. 2018. Том 2. С.30-35.

4. Шаабидов Ш.А. Иргашев Б.А. Расчет модуля зацепления шестерен, работающих в условиях сухого трения. Перспективное направления развития автотранспортного комплекса. Сборник научных трудов. Тольятти Ташкент ТГУ- ТашГТУ,- 2018 – С. 112-121.

5. Шообидов Ш.А., Иргашев Б.А., Раҳматуллаев Т.Х. Абразив мухитда ишловчи бирикмани эҳтиёт қисмига бўлган талабини аниқлаш. «Қишлоқ хўжалигида ресурс тежовчи инновацион технология ва техник воситаларни

яратиш ҳамда улардан самарали фойдаланиш истиқболлари». Қарши, 2019. – С. 339-342.

6. Шаабидов Ш.А. Иргашев Б.А. Определения допустимой концентрации абразивных частиц в масле агрегатов машин. Республиканская научно-техническая конференция «Проблемы и перспективы инновационной техники и технологии». Ташкент, 2019. С 27-29.

7. Иргашев Б.А. Определения допустимой концентрации активных абразивных частиц в масле агрегатов машин заданной износостойкости зубчатых передач в зависимости от модуля зацепления. Республиканская научно-техническая конференция «Проблемы и перспективы инновационной техники и технологии». Ташкент, 2019. – С. 211-213.

8. Иргашев Б.А., Айтбоев Д.Д. Тракторларни фойдаланиш даврида трансмиссия агрегатлари мойда деталларнинг ейилиш маҳсулотларининг тўпланиши. «Инновацион техника ва технологияларнинг муаммо истиқболлари» мавзусидаги Республика илмий ва илмий-техник анжумани. Тошкент, 2019. – С. 133-134.

9. Иргашев Б.А. Определение допустимой концентрации активных абразивных частиц в масле агрегатов машин заданной износостойкости зубчатых передач в зависимости от передаточного отношения. «Инновацион техника ва технологияларнинг муаммо истиқболлари» мавзусидаги Республика илмий ва илмий-техник анжумани. Тошкент, 2019. – С. 176-178.

10. Иргашев А., Иргашев Б.А., Алиёров А.Б. Зиҳирли автомобилларнинг трансмиссия агрегатларидаги тишли ғилдирак тишларининг ейилишига таъсир кўрсатувчи омиллар //Ўзбекистон Республикаси қуrolли кучлари академияси Илмий конференцияси 2021й. с.110-115.

11. Иргашев Б.А. Обоснование видов упрочнения зубьев шестерен по износостойкости и допустимой концентрации абразивных частиц в масле агрегатов. International scientific and scientific-technical conference Problems and prospects of innovative technique and technology in agri-food chain 24-25 апрель, 2020 с.165-166.

12. Иргашев Б.А., Шадиева Ш.К., Ахмедова Г.М. Оценка активности абразивных частиц в масле агрегатов машин, участвующих в процессе изнашивания зубчатых колес “Materialshunoslik, materiallar olishning innovatsion texnologiyalari va payvdlash ishlab chiqarishning dolzarb muammolari – 2022” mavzusidagi Respublika ilmiy-texnik anjumani to‘plami, Toshkent, 19-noyabr, 2022. б. 161– 162.

13. Иргашев Б.А., Мамуржонов Д.М., Тохирбеков Р.Р. Износостойкость зубчатых колес агрегатов при качении с проскальзывания между зубьями шестерен, в условиях наличия в масле абразивных частиц “Materialshunoslik, materiallar olishning innovatsion texnologiyalari va payvdlash ishlab chiqarishning dolzarb muammolari – 2022” mavzusidagi Respublika ilmiy-texnik anjumani to‘plami, Toshkent, 19-noyabr, 2022. б. 250 – 252.

14. Иргашев Б.А., Мамуржонов Д.М., Тохирбеков Р.Р. Износостойкость и ресурс конических зубчатых колес “Materialshunoslik, materiallar olishning

innovatsion texnologiyalari va payvadlash ishlab chiqarishning dolzarb muammolari – 2022” mavzusidagi Respublika ilmiy-texnik anjumani to‘plami, Toshkent, 19-noyabr, 2022. 6. 256 – 257.

15. Irgashev A., Irgashev B.A., Aliyrov A.B. Evaluation of the degree of abrasive particles activity in oil of machine units involved in the wear process of toothed wheels // Journal of Physics: Conference Series 2176, 2022.

16. Irgashev A., Shaabidov Sh.A., B.A Irgashev, N.A Egamberdieva Roughness of meshing gear teeth ETESD-2022 IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 1112-2022.

17. Шообидов Ш.А., Иргашев А., Иргашев Б.А., Хамроев Р.К. Тишли узатманинг илашиш кутбида жойлашган шестерня тишларининг ейилиш тезлигини мой таркибида абразив заррачалар бўлмаган ҳолат учун ҳисоблаш № DGU 10976 Тартиб рақам: DGU 2021 0915.

18. Шообидов Ш.А., Иргашев А., Иргашев Б.А., Хамроев Р.К. Конуссимон шестерня тишлари думалаш сохасининг абразив заррачалар иштирокидаги ейилиш тезлигини аниқлаш № DGU 10975 Тартиб рақам: DGU 2021 0914.

Автореферат « Композицион материаллар » журнали таҳририятида таҳрирдан ўтказилиб, ўзбек, рус ва инглиз тилларидаги матнлар ўзаро мувофиқлаштирилди.

Босмахона лицензияси:



9338

Бичими: 84x60 ¹/₁₆. «Times New Roman» гарнитураси.
Рақамли босма усулда босилди.
Шартли босма табағи: 4. Адади 100 дона. Буюртма № 40/24.

Гувоҳнома № 851684.
«Тірографф» МЧЖ босмахонасида чоп этилган.
Босмахона манзили: 100011, Тошкент ш., Беруний кўчаси, 83-уй.