

### Раздел 3. «IT-технологии, энергетика, автоматизация и вычислительная техника»

FTAMP 53.39.33  
ЭОЖ: 621.89:

DOI [10.53002/013](https://doi.org/10.53002/013)

А.В.Дерешев, В.С.Кузьмин., А.А.Харвонен

*Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау, Қазақстан*  
(E-mail: [a.dereshev@tttu.edu.kz](mailto:a.dereshev@tttu.edu.kz), [vs.kuzmin@tttu.edu.kz](mailto:vs.kuzmin@tttu.edu.kz), [a.kharvonen@tttu.edu.kz](mailto:a.kharvonen@tttu.edu.kz))

#### Үйкеліс жұптарының тозуға төзімділігін арттырудың перспективалы әдістері

Мақалада әдебиеттер мен патенттерді талдау негізінде үйкеліс жұптарының тозуға төзімділігін арттырудың перспективалы әдістері қарастырылады. Кіріспе машина жасау және энергетика сияқты әртүрлі салаларда тозуға төзімділікті арттырудың маңыздылығын көрсетеді. Мақаланың негізгі бөлігі құрамында фторы бар өнімдерді пайдалануды қоса алғанда, бірқатар зерттеулерді қамтиды эпаламов жылы био-майлы композициялар, тозған бөлшектерді қалпына келтіру технологиялары, қолдану термо-кеңейтілген графит, металл-керамикалық композициялық материалдар және инновациялық жабындар. Әртүрлі қоспалар мен технологияларды қолдану арқылы тозуға қарсы қасиеттердің айтарлықтай жақсарғанын көрсететін сынақ нәтижелері ұсынылған, мысалы карбонитрация, нитридтеу және детонациялық жабындар. Сондай-ақ құрамында наноөлшемді гауһар тастар мен фторопласт бар күрделі жағармайлардың тиімділігін көрсететін тәжірибе нәтижелері талқыланады. Жаңа технологияларды қолдануды оңтайландыру және механикалық жүйелердің сенімділігін арттыру үшін осы саладағы қосымша зерттеулердің қажеттілігі қорытындыланады.

*Түйінді сөздер:* тозуға төзімділік, үйкеліс, пайдалануатациялық қасиеттері, трибологиялық сипаттамалары, трибологиясы, тозған бөлшектерді қалпына келтіру, майлау.

#### *Кіріспе*

Үйкеліс жұптарының тозуға төзімділігін арттыру механикадағы, әсіресе машина жасау, ұшақ жасау және энергетика сияқты салалардағы маңызды аспект болып табылады. Жоғары жүктемелер, агрессивті пайдалану жағдайлары және материалдардың беріктігіне қойылатын талаптар инженерлерге тозуға төзімділікті арттырудың тиімді әдістерін табу міндетін қояды.

Механикалық құрылғылардың жұмысындағы үйкеліс процесі олардың тозуын анықтайды, бұл құрылымдық материалдың біртіндеп іске қосылуына әкеледі. Ұзақ әсер ету кезінде бұл механикалық жүйені жарамсыз күйге келтіреді. Машина бөлшектері мен механизмдерінің қызмет ету мерзімін ұзарту үшін үйкеліске ұшырайтын бөлшектердің өлшемдерін, пішіндерін, массаларын өзгертуге, сондай-ақ бетін өзгертуге байланысты әртүрлі тәсілдер қолданылады.

Жоғары сапалы жағармайларды таңдау және жанасатын беттердің геометриясын оңтайландыру сияқты дәстүрлі тәсілдер бұрыннан негіз болды, бірақ заманауи технологиялар жаңа көкжиектерді ашуда. Соңғы жылдары нано қолдану сияқты перспективалы әдістер белсенді түрде зерттелуде-материалдарды, арнайы жабындарды және инновациялық майлау жүйелерін, сондай-ақ бейімделгіш және интеллектуалды материалдарды қолдану.

Бұл мақалада үйкеліс жұптарының тозуға төзімділігін арттыруға бағытталған қазіргі технологиялар, сондай-ақ олардың механикалық жүйелердің өнімділігі мен сенімділігіне ықтимал әсерлері қарастырылады.

Мақаланың мақсаты үйкеліс жұптарының тозуға төзімділігін арттыру бойынша әдебиеттерге шолу жасау болып табылады және үйкелетін бөлшектердің тозуға төзімділігін арттыруға бағытталған патенттер.

#### *Әдістер мен материалдар*

Әдеби шолу жүргізу кезінде пайдаланылғандар мұндай өлшемшарттар қалай:

### Раздел 3. «IT-технологии, энергетика, автоматизация и вычислительная техника»

– **Өзектілігі.** Мақалалар болуы керек еді соңғы 5-15 жылда жариялануы керекарттыру саласындағы заманауи жетістіктер мен тенденцияларды көрсету үшінөния үйкеліс жұптарының тозуға төзімділігі.

– **Тақырыптар.** Зерттеулер тозуға төзімділікті арттыру әдістерін қарастыруы керек, трибологиялық сипаттамалары, жаңа материалдар мен жабындарды қолдану, сондай-ақ бөлшектерді қалпына келтіру технологиялары.

– **Жарияланым түрі.** Рецензияланатын ғылыми мақалаларға, диссертацияларға және патенттерге артықшылық беріледі, бұл ғылыми сенімділіктің жоғары деңгейін қамтамасыз етеді.

– **Әдістеме.** Эксперименттік зерттеулерді, теориялық модельдерді немесе салыстырмалы талдауды қамтамасыз ететін шолуларды сипаттайтын жұмыстар қамтылды.

Әдебиеттерді іздеу үшін келесі ғылыми мәліметтер базасы пайдаланылды: Cyberleninka, Scopus, Web of science сондай-ақ университеттердің әртүрлі интернет-журналдары.

Бастапқы кімненмақалалар боры жүзеге асырылды «тозуға төзімділік», «үйкеліс жұптары», «трибология», «наноматериалдар», «жабындар» сияқты кілт сөздерге, сондай-ақ олардың комбинацияларына негізделген. Мақалаларды іріктеу және оларды жабындар, жағармайлар, бөлшектерді қалпына келтіру және инновациялық технологиялар сияқты тақырыптық бағыттар бойынша жүйелеу жасалған баса назар аударып отырып олардың нәтижелері мен зерттеу үшін қолданылатын әдістер және қолданылатын материалдар.

#### Нәтижелер мен талқылаулар

Мақаланың мақсаты [1] болды практикалық қолдану мүмкіндігін бағалау және трибологиялық фторы барлардың сипаттамаларын эпиламов құрамында биомассалық өсімдік майларына негізделген композициялар. Жылы жұмыста майлау негізіндегі көп функциялы композициялар пайдаланылды перфторполипропилен тотығы 6СФК-180-05 маркалы және тәжірибелік үлгідегі өнім түрі трибокцентрат, еріткіштегі фторы бар беттік белсенді заттың суспензиясы болып табылады перфторметилциклогександа. Жұмысшы майлаушы ретінде рапс (ГОСТ 31759-2012) және рапс пайдаланылды талдық май (МЕМСТ 14845-79). Майлардың ұстауға және тозуға қарсы қасиеттерін анықтау және майлау материалдарының трибологиялық сипаттамаларын зерттеу үшін сынақтар жүргізілді. төрт шарикті машина түріндегі үйкеліс емес Тимкена.

Эксперименттердің нәтижелерін оқығаннан кейін мен де қорытынды жасағым келедіөсімдік майларын майлау композицияларының құрамдас бөліктері ретінде пайдалану қоспалардың әсерінің әсерін бағалауға мүмкіндік берді эпиламов механохимиялық әсер ету режиміндегі механикалық тозу сипаты туралы. Композициялардың майлау қасиеттерін салыстырмалы сынау нәтижелері негізгі маймен салыстырғанда беттік белсенді заттармен модификацияланған майлардың жоғары тозуға қарсы қасиеттерін көрсетті. Мұнайдың модификациясы ең үлкен нәтиже көрсетті эпиламммен маркалары 6СФК-180-05. Концентрацияның жоғарылауымен эпилама майлау композициясында ең үлкен қорғаныс әсері 3%-да байқалады эпиламе. Ықпалы эпиляциялау пайдалану кезінде талдық майлар азырақ айқын нәтижелер берді, бұл оның үлкен механохимиялық белсенділігімен түсіндіріледі. 1-кестеде нақтырақ көрсетілген.

Кесте 1

Майлау материалдарының сипаттамаларын салыстыру

Майлау	Үйкеліс коэффициенті	Тұтқырлық (МПа·с)	Тозуға қарсы қасиеттері	Әсер эпилама
Рапс майы	0,15	70	Орташа	Орташа
Талдық май	0,12	80	Жоғары	Төмен
Рапстық эпилам 3% +	0,08	100	Өте жоғары	Жоғары
Талдық эпилам 3% +	0,10	90	Орташа	Орташа

### **Раздел 3. «IT-технологии, энергетика, автоматизация и вычислительная техника»**

Зерттеуде [3] міндет қойылды - «шөміш тізбегінің түйіспесінің тозған бөлшектерін қалпына келтірудің ғылыми негізделген технологиясы, қолданыстағы болат маркаларын аз тапшы және қымбат материалдармен алмастыру. Үлгілер 6615 Н жүктемені ескере отырып сыналды. Осы зерттеудің 13 экспериментінің негізінде үлгі алынды. Қаттылық беріктендіретін термиялық өңдеусіз көміртегі мөлшері артқан кезде тозуға төзімді сипаттамалардың өзгеруіне әсер етпейді. Тозуға төзімділіктің айтарлықтай артуы көміртегі мөлшері жоғары полиморфты өзгерістерге байланысты құрылымның өзгеруіне байланысты. Тозуға төзімділік үйкеліс жұбының құрылымдарына өзара тәуелді және беріктік осіне иену.

Сондай-ақ, үйкеліс бетінің жоғары қаттылығы 50-60 аралығында тиімді екендігі анықталды HRC. Химиялық термиялық өңдеуден өткен болат 35 және бағыттаушы сым Sv-08A, электродтар E46 (AN4), орташа және жоғары легирленген болаттарды тізбекті құрастыру бөлшектерімен алмастыра алады.

Зерттеудің мақсаты [4] – зерттеу жабынның трибологиялық қасиеттерінің бірі термо-кеңейтілген деформациялық кесу әдісімен алдын ала дайындалған болат бетіне жағылған графит. Трибологиялық сынақтар үлгілердің 5 тобына бөлу арқылы жүргізілді. Мақаланың негізінде логикалық түрде мынандай қорытындыға келеміз деформациялық кесу технологиясымен өңделген болат үлгілері үшін және жабылған ТРГ, үйкеліс коэффициенті әлдеқайда көп бетінің және жабынының дамыған макрорельефі жоқ үлгілерге қарағанда аз, ал тозуға төзімділігі бірнеше есе жоғары.

Мақалада [5] құрғақ үйкелісті сырғанау мойынтіректеріне арналған тозуға төзімді кермет композициялық материалдарына шолу жасалды. Авторлармен көлік құралдары мен басқа да жабдықтардың жылжымалы мойынтіректері үшін МКМ құрамы, қасиеттері, дайындау әдістері мен қолданылуы қарастырылады. Кермет подшипниктерінің матрицалық материалы ретінде негізінен темір, мыс, кобальт және никель немесе олардың негізіндегі қорытпалар қолданылады. Керамикалық толтырғыш мыналарға байланысты таңдалады: беріктік сипаттамаларын жақсартуды, тозуға төзімділікті және жүк көтергіштігін арттыруды талап ететіндер. Майлау өнімділігін жақсарту МКМ құрамына қатты жағармайларды: графит, бор нитридін немесе сульфидтерді (WS<sub>2</sub>, MoS<sub>2</sub>, CuS<sub>2</sub>) енгізу арқылы қамтамасыз етіледі, FeS, CoS, TiS<sub>2</sub>, SnS), сондай-ақ полимерлер.

Үшін перспективалы триботехникалық қолдану аясы ауыр жүк тиелген майлау материалдары шектеулі жоғары температура жағдайында жұмыс істейтін үйкеліс қондырғылары керамикалық бөлшектермен жоғары толтырылған никель қорытпаларына негізделген МКМ болып табылады.

Кермет подшипниктері негізінен ұнтақты металлургия технологиясын қолдану арқылы жасалады, содан кейін престоу арқылы консолидацияланады (суық престоу, содан кейін агломерациялау, сондай-ақ ыстық престоу, плазмалық престоу немесе жарылғыш престоу).

Мақалада [6] автор тозуға төзімділік пен тозуға төзімділікті зерттеді. наноқаттылық 45 және 38ХМЮА болаттан жасалған, жабын түрі әртүрлі және жабынсыз үйкеліс жұптарының үйкелетін беттері. 45 болаттан жасалған үлгілер сөндіруге және төмен температураға ұшырадыбосату. Үлгілердің бір бөлігі ұшырадылась карбонитрациялар. 38Х2МЮ болаттан жасалған үлгілерАл жақсарғаннан кейін зерттелді (үшінқалқи және сізеңбек демалысы). Бейненің бір бөлігіненано орталықсүрлемдік плазмалық жабын метотехнологиясы өзара әрекеттесуге негізделген КІВ үйіствии иондардың және басқа да энергетикалық заттардыңтөмен температурада алынған бөлшектердіңемпературакты жоспарзме, қатты заттың бетімен тела. Разрядталған ортадағы бөлшектер ағынының бетімен әрекеттесуінің нәтижесі тұндырылған пленка болып табылады. Плазманы таңдаған кездежабындар ұат-да тоқтадытитан рейдінде (СТН), өйткені оның мөлшері жоғарытөзімдіқалған сипаттамалар. Оның коэффициентітермиялық кеңею коэффициенті шамасы бойынша экономикалық тұрғыдан легирленген болаттардың термиялық кеңею коэффициентіне жақын, оларды қолданадымы субстрат ретінде. Жағындыжабындарды жөндеу «Болат-3Т» қондырғысында жүргізілді. Тозғане сынақтары машада жүргізілдіүйкеліс емес СМЦ-2, ол салбырауға мүмкіндік бередіти салыстырылдысыналатын материалдардың тозуына «ролик-қалып» схемасы бойынша негізгі беріктік. Үлгілердің тозуы 10-4 г дәлдікпен аналитикалық таразыда өлшеу арқылы сынақ кезінде массаның жоғалуымен анықталды.

Жүргізу нәтижелері тозғанх сынақтар 2-кестеде келтірілген. Алынған деректерді талдау 38Х2МЮА болаттың тозуы 2 есе аз екенін көрсетеді, сағболат жейміз 45. Жағу карбонитридтік болат жабындары 45 тозуды 10%-ға азайтады. 38Х2МЮА болатты азоттау 2% тозуды азайтады рет. Мен одан да үлкен әсерді байқаймынжабынды жағу кезінде беріледі TiN 38Х2МЮА болатқа, тозу 3 есеге

### Раздел 3. «IT-технологии, энергетика, автоматизация и вычислительная техника»

жуық азайған кезде. Қаптамадан 38X2МЮА болаттың тозуымен TiN 45 с болаттан 4,5 есе аз карбонитридті жабынмен жабылған.

Кесте 2

Тозу сынақтарының нәтижелері.

Диск материалы	Қалыптың материалы	Дискінің тозуы, г (үш сынақ бойынша орташа)	Қалыптың тозуы, г (үш сынақ бойынша орташа)
болат 45	САН 20	0,0046	0,0026
болат 45 карбонитрациялаумен	САН 20	0,0040	0,0018
болат 38X2МЮА	САН 20	0,0025	0,0015
азоттаумен 38X2МЮА болат	САН 20	0,0013	0,0008
TiN жабыны бар 38X2МЮА болат	САН 20	0,0009	0,0005

Тозуға төзімді жабындардың материалдары ретінде мақала авторы [7] таңдалғандар: никель қорытпасы PRX16C3R3 және композициялық материал Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+30% PRX16C3R3. Детонациялық жабындарды жағу “Прометей-2” детонациялық қондырғысында жүргізілді пропан-бутанды пайдалана отырып оттегі қоспасының. Құрылығда HVOF жабындары қолданылды Mikrojet HVOF (GMA). Қолдану үшін фракциясы 53 мкм-ге дейінгі PRX16C3P3 ұнтақтары және фракциясы 20-53 мкм алюминий оксиді Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> пайдаланылды. Қаптамаларды қолданар алдында сынамалар 1200-1600 мкм фракциясы бар электрокорундпен абразивті-ағынды өңдеуден өтті. Жабындардың адгезиясының беріктігі диаметрі 2 мм болатын D16T қорытпасынан жасалған жабысқақ үлгілерде анықталды, микроқаттылық жабындардың және жарыққа төзімділік Эванс әдісі бойынша K1c PMT-3 құрылысында анықталды, триботехникалық өнімділік АӨҚ үйкеліс машинасында бағаланды. Температураны өлшеу Ø147 мм төлкелердің ішкі қабырғаларына жабын орнында төлкенің сыртқы бетінен 0,5 мм қашықтықта дәнекерленген “хромель-алюминий” термопараларымен жүргізілді. Төлке қабырғасының қалыңдығы 10 мм. Өлшеулер жүргізілді микропотенциометрмен МР-64.

Зерттеулер көрсеткендей, беріктігі жоғары алюминий қорытпаларынан жасалған бөлшектерге детонациялық және HVOF жабындарын жағу кезінде:

– Мжабындардың икромеханикалық сипаттамалары, микроқаттылық және жарыққа төзімділік негіз материалына тәуелді емес;

– Біліністің беріктігі болат негіздерге жағылатын жабындар деңгейінің 25-30% дейін төмендейді;

– Бдетонациялық жабындарды жағу кезінде D16T негізін беріктендіру 3-4-тен аспайды%;

– BHVOF жабындарын қолданған кезде D16T негізінің беріктенуі 20- 25% жетеді%;

– Триботехникалық D16T негізіне қолданылатын детонациялық жабынның қасиеттері болат негізге қолданылатын жабынның қасиеттерінің деңгейіне іс жүзінде ұқсас.

Мақалада [8] өндірілді сынақтар 1,5-6,0 мПа жанасу қысымымен жұмыс істейтін ось–втулка теңгергішінің үйкеліс жұбының жұмыс жағдайларына негізделген. Ауыр жүк тиелген автомобильдердің үйкеліс қондырғылары бөлшектерінің қызмет ету мерзімін ұзарту үшін жан-жақты майлау материалдарын қолдану ұсынылатындығы көрсетілген: құрылымдық және литий майлары жұмыс орнындағы наноөлшемді гауһар тастар мен сульфалардың пакеті түріндегі қоспаларфторлы қоспалары бар ат-кальцийлікаттың және тұтқырлық қоспамен. Көрсетілген жанасу кезінде шекаралық үйкеліс жағдайында қола–болат үйкеліс жұбы үшін бұл анықталдықысымның әсерінен максималды тозужұмысқа қосу және белгіленген үйкеліс кезеңдеріндегі үлгілердің тұрақтылығыбіреуді пайдаланған кезде стигматизацияланадыфторопласт қоспалары бар плекеті сульфатты-кальцийлі пластикалық жағармай және тұтқырлық қоспасы. Сынақтар барысында бұл, пайдалану белгілі болдынаноөлшемді гауһар тастары бар кешенді литий майын қолдану азаядыт барлық КБ-да жұмысқа орналасу кезеңіберілген режимдерде және 3 Мпа-дан аспайтын меншікті жүктеме кезінде тиімді.

### Раздел 3. «IT-технологии, энергетика, автоматизация и вычислительная техника»

#### Қорытындылар

Әдебиеттерді шолу нәтижесінде үйкеліс жұптарының тозуға төзімділігін арттырудың әртүрлі перспективалы әдістері анықталды, бұл механикалық жүйелердің пайдалану сипаттамаларын айтарлықтай жақсарта алады. Құрамында фторы барларды қолдану эпиламов, термо-кеңейтілген графит және металл-керамикалық композициялық материалдар үйкеліс жағдайында жоғары тиімділікті көрсетті. Инновациялық жабындар, мысалы карбонитридті және нитридтер тозудың айтарлықтай төмендеуін көрсетеді, бұл тәжірибелік деректермен расталады.

Сондай-ақ, кешенді жағармайларды қолдануға назар аударылады наноөлшемді жұмыс істеу мерзімін қысқартуға және үйкеліс қондырғыларының сенімділігін арттыруға мүмкіндік беретін гауһар тастар мен фторопластиктер. Маңыздысы, технологияларды оңтайландыру және олардың әртүрлі жұмыс жағдайларына бейімделуін жақсарту үшін осы саладағы қосымша зерттеулер қажет. Бұл бөлшектердің қызмет ету мерзімін ұзартады және машиналар мен механизмдердің жалпы сенімділігін арттырады.

#### Әдебиеттер тізімі

1. Прошина, О.П., Иванкин А. Н. механохимиялық әсер ету жағдайында тозуға төзімділікті арттыру үшін механикалық құрылғылардың Эпиляциясы // Орман Бюллетені (Орман Шаруашылығы Бюллетені). – 2024. Том. 28. № 1. – 130-138 беттер. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/epilamirovanie-mehanicheskikh-ustroystv-dlya-povysheniya-iznosostoykosti-v-usloviyah-mehanohimicheskogo-vozdeystviya?ysclid=m6nrwk3gxj578824473> (өтініш берілген күні: 11.01.2025).

2. Худайбердиев, Б., Агаев, Ю., Гүлсариєв, Ш., Гелдимырадов, С. Машина бөлшектері және дизайн негіздері // Ғылыми журнал : Ғылым және дүниетаным. Ашхабад : Ягшыгелді Қақаєва Атындағы Халықаралық Мұнай Және Газ Университетінің Баспасы 2024. - 6 б. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/detali-mashin-i-osnovy-konstruirovaniya> (өтініш берілген күні: 11.01.2025).

3. Петровский, В.А., Рубан А. Р., Хоменко Т. В., Мельников А. В. шөміш тізбегінің топсасын құрастыру үшін зерттелген материалдардың Тозуға төзімділігі мен үйлесімділігі // Астрахань Мемлекеттік Техникалық Университетінің Хабаршысы, 2023. – № 3. – 6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/iznosostoykost-i-sovmestimost-issleduemyh-materialov-dlya-sharnirnogo-uzla-cherpakovoy-tsepi> (өтініш берілген күні: 11.01.2025).

4. Матыгуллина, Е. В., Караев, Д. М., Сиротенко, Л. Д., Смирнов, Д. В. болат негізді деформациялық кесудің термиялық кеңейтілген графит жабындарының тозуға төзімділігіне әсері. // PNRPU хабаршысы. Машина жасау, материалтану. – 2023. - Том.25, № 2. – 36-44 беттер. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-deformiruyuschego-rezaniya-stalnoy-osnovy-na-iznosostoykost-pokrytiy-iz-termorasshirennogo-grafita> (өтініш берілген күні: 11.01.2025).

5. Бурковская, Н.п. жылжымалы мойынтіректерге арналған Металлокерамикалық композициялық материалдар (шолу) /Н. П. Бурковская, Н. В. Севостьянов // VIAM Материалдары. – 2023. – № 3 (121). Өнер. 08. URL: <http://www.viam-works.ru> (өтініш берілген күні: 11.01.2025) DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-3-84-94.

6. Үйкеліс жұптарының үйкеліс беттерінің тозуға төзімділігін арттыру / С.Н. Дуб, А. Н. Ковальчук, Д. Б. Глушкова [және д. р.] // ХНАДУ Хабаршысы. Материалдар технологиясы. – 2009. - 4 б. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-iznosostoykosti-truschih-sya-poverhnostey-par-treniya> (өтініш берілген күні 20.01.2025).

7. Газ-жылу жабындылары бар алюминий қорытпасының бөлшектерінің үйкеліс беттерінің тозуға төзімділігін арттыру. Машиналарды, механизмдерді, жабдықтарды, құрал-саймандарды және технологиялық жабдықтарды жөндеуге, қалпына келтіруге және нығайтуға арналған ресурстарды үнемдейтін технологиялар нанодан макро деңгейге дейін / И. М. Галеев, Е. Д. Бланк, П. А. Тополянский [және басқалар.]. - Санкт-Петербург: Санкт-Петербург Мемлекеттік Педагогикалық Университетінің Баспасы, 2009. - 1 бөлім. - 204-206 БЕТТЕР URL: <https://www.plasmacentre.ru/docs/povyshenie-iznosostoykosti-poverhnostej.pdf?ysclid=m6bnsnrx013841812843> (өтініш берілген күні 20.01.2025).

### **Раздел 3. «IT-технологии, энергетика, автоматизация и вычислительная техника»**

8. Дудань, А.в., Вигерина, Т. В., Кравчук, В. И., Пилипенко, И. и. автокөліктердің ауыр тиелген үйкеліс қондырғыларының бөлшектерінің тозуға төзімділігін Арттыру // Полоцк Мемлекеттік Университетінің Хабаршысы. В Сериясы. Өнеркәсіп. Қолданбалы ғылымдар. – 2022. - 6 б. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-iznosostoykosti-detaley-tyazhelonagruzhennyh-uzlov-treniya-avtomobiley> (өтініш берілген күні 20.01.2025).

Дерешев А.В., Кузьмин В.С., Харвонен А.А.

#### **Перспективные методы повышения износостойкости пар трения**

В статье рассматриваются перспективные методы повышения износостойкости пар трения, основанные на анализе литературы и патентов. Введение подчеркивает важность повышения износостойкости в различных отраслях, таких как машиностроение и энергетика. Основная часть статьи охватывает ряд исследований, включая использование фторсодержащих эпиламов в биомасляных композициях, технологии восстановления изношенных деталей, применение терморасширенного графита, металлокерамических композиционных материалов и инновационных покрытий. Представлены результаты испытаний, демонстрирующие значительное улучшение противоизносных свойств при использовании различных добавок и технологий, таких как карбонитрация, нитрирование и детонационные покрытия. Обсуждаются также результаты экспериментов, показывающие эффективность комплексных смазок, содержащих наноразмерные алмазы и фторопласт. Подводится итог о необходимости дальнейших исследований в этой области для оптимизации применения новых технологий и повышения надежности механических систем.

*Ключевые слова:* износостойкость, трение, эксплуатационные свойства, трибологические характеристики, трибология, восстановления изношенных деталей, смазка.

Dereshev A.V., Kuzmin V.S., Kharvonen A.A.

#### **Promising methods for increasing the wear resistance of friction pairs**

The article discusses promising methods for increasing the wear resistance of friction pairs based on an analysis of literature and patents. The introduction highlights the importance of increasing wear resistance in various industries such as mechanical engineering and energy. The main part of the article covers a number of studies, including the use of fluorinated epilams in bio-oil compositions, technologies for restoring worn parts, the use of thermally expanded graphite, metal-ceramic composite materials and innovative coatings. The test results are presented, demonstrating a significant improvement in anti-wear properties when using various additives and technologies such as carbonitration, nitriding and detonation coatings. Experimental results showing the effectiveness of complex lubricants containing nanoscale diamonds and fluoroplast are also discussed. It concludes that further research is needed in this area to optimize the use of new technologies and improve the reliability of mechanical systems.

*Keywords:* wear resistance, friction, operational properties, tribological characteristics, tribology, restoration of worn parts, lubrication.

#### References

1. Proshina, O. P., Ivankin A. N. Epilamation of mechanical devices to increase wear resistance under conditions of mechanochemical exposure // Forest Bulletin (Forestry Bulletin). – 2024. Vol. 28. No. 1. – pp. 130-138. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/epilamirovanie-mehanicheskikh-ustroystv-dlya-povysheniya-iznosostoykosti-v-usloviyah-mehanohimicheskogo-vozdeystviya?ysclid=m6nrwk3gxj578824473> (accessed: 01/11/2025).

**Раздел 3. «IT-технологии, энергетика, автоматизация и вычислительная техника»**

2. Khudaiberdiev, B., Agaev, Y., Gulsaryev, Ch., Geldimyradov, S. Machine parts and design basics // Scientific journal: Science and worldview. Ashgabat: Publishing House of the International University of Oil and Gas named after Yagshygeldy Kakaeva 2024. – 6 p. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/detali-mashin-i-osnovy-konstruirovaniya> (date of request: 11.01.2025).

3. Petrovsky, V. A., Ruban A. R., Khomenko T. V., Melnikov A.V. Wear resistance and compatibility of the studied materials for the hinge assembly of the scoop chain // Bulletin of the Astrakhan State Technical University, 2023. – № 3. – 6. from the URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/iznosostoykost-i-sovmestimost-issleduemyh-materialov-dlya-sharnirnogo-uzla-cherpakovoy-tsepi> (accessed 11.01.2025).

4. Matygullina, E. V., Karaev, D. M., Sirotenko, L. D., Smirnov, D. V. The effect of deforming cutting of a steel base on the wear resistance of thermally expanded graphite coatings. // Bulletin of PNRPU. Mechanical engineering, materials science. – 2023. – Vol.25, No. 2. – pp. 36-44. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-deformiruyuschego-rezaniya-stalnoy-osnovy-na-iznosostoykost-pokrytiy-iz-termorasshirenogo-grafita> (accessed 11.01.2025).

5. Burkovskaya, N.P. Metallo-ceramic composite materials for sliding bearings (review) /N. P. Burkovskaya, N. V. Sevostyanov // Proceedings of VIAM. – 2023. – № 3 (121). Art. 08. URL: <http://www.viam-works.ru> (accessed: 01/11/2025) DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-3-84-94.

6. Increasing the wear resistance of rubbing surfaces of friction pairs / S. N. Dubov, A. N. Kovalchuk, D. B. Glushkova [and others] // Bulletin of the KHNADU. Technology of materials. – 2009. – 4 p. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-iznosostoykosti-truschihsya-poverhnostey-par-treniya> (accessed 20.01.2025).

7. Increasing the wear resistance of the friction surfaces of aluminum alloy parts with gas-thermal coatings. Resource-saving technologies for repairing, restoring and strengthening machines, mechanisms, equipment, tools and technological equipment from the nano to the macro level / I. M. Galeev, E. D. Blank, P. A. Topolyansky [and others]. – St. Petersburg: Publishing House of St. Petersburg State Pedagogical University, 2009. – Part 1. - pp. 204-206 URL: <https://www.plasmacentre.ru/docs/povyshenie-iznosostojkosti-poverhnostej.pdf?ysclid=m6nsnrx013841812843> (accessed 20.01.2025).

8. Dudan, A.V., Vigerina, T. V., Kravchuk, V. I., Pilipenok, I. I. Increasing the wear resistance of parts of heavily loaded friction units of cars // Bulletin of the Polotsk State University. Series B. Industry. Applied sciences. – 2022. – 6 c. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-iznosostoykosti-detaley-tyazhelonagruzhenyh-uzlov-treniya-avtomobilya> (accessed 20.01.2025).