

УДК 621.537.611

## МЕХАНІЗМ ВІДНОВЛЕННЯ ПОВЕРХНІ ТЕРТЯ ДІЄЮ МАГНІТНОГО ПОЛЯ НА РОБОЧЕ СЕРЕДОВИЩЕ МОДИФІКОВАНЕ ДІАМАГНЕТИКОМ

М. М. Свирид, І. Л. Трофімов, Л. Б. Приймак, В. Г. Паращанов

## МЕХАНИЗМ ВОСТАНОВЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ТРЕНИЯ ДЕЙСТВИЕМ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА РАБОЧУЮ СРЕДУ МОДИФИЦИРОВАННУЮ ДИАМАГНЕТИКОМ

М.М. Свирид, І.Л.Трофімов, Л.Б. Приймак, В.Г. Паращанов

## MECHANISM OF RENEWAL SURFACE OF FRICTION OPERATING MAGNETIC FIELD ON WORKING ENVIRONMENT MODIFIED DIAMAGNETIK'S

M.N. Svirid, I.L. Trofimov, L.B. Pryimak, V.G. Paraschanov

*Досліджено процеси, які проходять в мастильному середовищі у разі його взаємодії з магнітним полем. Встановлено, що відновлення в магнітному полі найбільш активно проходить з напрямком S-N-S-N та величиною магнітної індукції 0,3 Тл. Визначено, за умов впливу магнітного поля (МП) на робоче середовище при терті, товщина поверхневої плівки досягає 2,5...4,5 мкм.*

*Ключові слова: магнітне поле, змащувальне середовище, мастило, тертя, зношування, відновлення, робочий зразок, контртіло, модифікатор, мідь.*

*Исследовано процессы, которые проходят в смазочной среде в случае её взаимодействия с магнитным полем. Установлено, что восстановление в магнитном поле наиболее активно проходит с направлением S-N-S-N и величиной магнитной индукции 0,3 Тл. Определенно, что при условиях влияния магнитного поля (МП) на рабочую среду при трении, толщина поверхностной пленки достигает 2,5...4,5 мкм.*

*Ключевые слова: магнитное поле, смазочная среда, масло, трение, изнашивание, восстановление, рабочий образец, контртело, модификатор, медь.*

### 1. Вступ

Дослідження, про які йдеться у статті відносяться до галузі машинобудування. Розвиток машинобудування і умови експлуатації постійно удосконалюються, що збільшує питомі навантаження на деталі пар тертя. Значна частина машинного парку використовує механізми, які передають зусилля за допомогою гідравлічних систем, силовими агрегатами яких є гідронасоси, як плунжерні так і шестерінчасті.

## **2. Аналіз літературних джерел і постановка проблеми**

Відновлення працездатності насосів займає багато часу і коштів та пов'язане з цим простим машин. Саме тому на сьогодні актуально стратегію розвитку сервісного обслуговування направити на відновлення у процесі експлуатації. Враховуючи, що мастильне середовище, або робоче середовище входить до складу вузла тертя як третій елемент, необхідно враховувати його властивості і використовувати як відновник. Нами пропонується підвищення зносостійкості шляхом впливу на поверхню тертя постійним магнітним полем (МП) з використанням присадок до змащувальних матеріалів.

Механізм роботи магнітних оливи, що складаються з наночасток намагніченого металевого порошку, найближче відображає умови роботи вузла тертя в змащувальних середовищах і процеси зношування поверхонь під дією магнітних силових ліній [1-3].

Так як технологія відновлення трибологічної пари включає в себе взаємозв'язок робочого середовища з матеріалами (продукти зношування, модифікатори оливи), то в процесі тертя реалізуються мікромагнітні процеси в частинках продуктів зносу, які намагнічуються і моделюють властивості магнітної рідини, що складається з оливи і магнітних продуктів зносу.

Останнім часом все більша увага приділяється дослідженням впливу фізичних силових полів на робочі середовища, результати яких відображені в працях В.А. Аметова, І.А. Кравця, Є.М. Лисікова [4, 5] та ін. Вплив магнітного поля, в основному, спрямований на вдосконалення і інтенсифікацію процесів дії полем на середовища, і, зокрема, паливно-мастильні матеріали [6]. При цьому використовуються як постійне, так і змінне магнітне поле [7].

Таким чином, актуальність даного напрямку в роботі обумовлена використанням альтернативної енергії МП, що впливає на всі фізичні та хімічні системи оскільки вони мають розподіленні заряди або їх модулі.

## **3. Мета і задачі дослідження**

Метою даної роботи було вивчення механізму відновлення поверхонь тертя викликане зміною стану робочого середовища, обробкою його МП та модифікуючою діамагнітною присадкою.

Об'єктом досліджень виступали процеси, що проходять в мастильному середовищі у разі його взаємодії із магнітним полем.

## **4. Методика проведення досліджень**

Для проведення досліджень використано трибологічний комплекс [8], який допрацьований таким чином, що можливо переміщувати постійні магніти, утворюючи рівномірні та нерівномірні магнітні поля, в залежності від розташування магнітів, що дозволяє обробляти робочу рідину в процесі тертя. При цьому на частинки матеріалу, що утворюються в процесі зношування поверхонь тертя діють магнітні силові лінії постійного магніту, який (або які) розміщені якнайдалі від площини тертя, щоб можливо було змінювати розташування полюсів та діяти на робоче середовище.

## 5. Експериментальні дані і їх обробка

У процесі тертя отримуємо продукти зносу, які неоднаково реагують на дію магнітного поля, що дає можливість спрямувати стан трибосистеми на зменшення ентропії, що підвищить умови відновленні поверхні.

Дослідження проводили при швидкостях 0,5 м/с, 1 м/с, навантаження змінювалося від 0,1 до 5 МПа. Зразок був виконаний із сталі 45, а контртіло із латунного сплаву ЛС59-1. У якості робочого середовища вибрано М10Г2<sub>к</sub> (мінеральну) та 5W-40 (синтетичну) моторні оливи, у якості модифікатора - діамагнітний нанопорошок мідь. Направлення магнітного поля під час досліджень представлено на рис. 1.

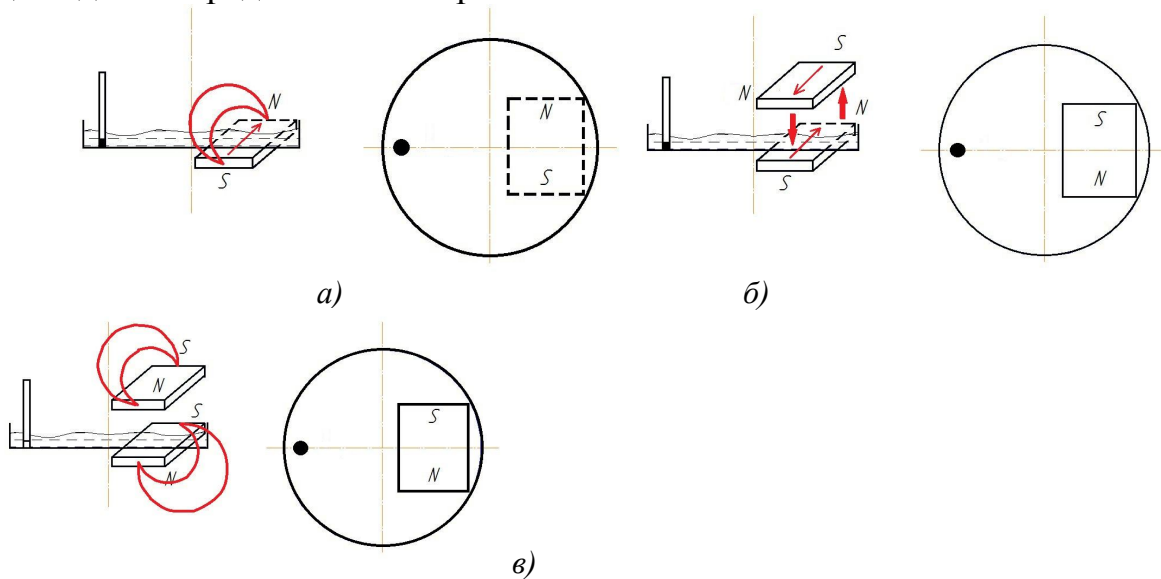


Рис. 1. Схеми розташування магнітного поля відносно змащувального середовища та поверхні тертя, (темна точка вказує на зону тертя)

На рис. 1а) зображено розташування МП відносно зони тертя та мастильного матеріалу величиною магнітної індукції 0,15 Т; рис. 1 б) – 0,3 Т, замкнутої спрямованої дії МП; рис. 1 в) – 0,3 Т різнонаправленої дії МП.

Як відомо, діамагнетик зміщується стосовно МП в сторону негативного градієнта. Згідно логіки досліджень необхідно наситити мастило діамагнітною складовою. Виходячи з цього, використали модельний нанопорошок мідь (дисперсність якого 5-8 мкм) для визначення умов відновлення поверхні тертя сталі 45 шляхом додавання його у робоче середовище, а саме у склад мастила М10Г2<sub>к</sub>, та провели дослідження при різних напрямках магнітних ліній та величині магнітної індукції рис.1., впливаючи дією МП виключно на робоче середовище.

Результати топографічних досліджень вказують на різні умови тертя і якості створених захисних плівок. На рис.2 показано поверхню тертя сталі 45 по контртілу ЛС59-1 в оброблених магнітним полем середовищах М10Г2<sub>к</sub> і 5W40 з додаванням нанопорошку міді при різних напрямках магнітних ліній [9] та величині індукції.

Оскільки діамагнетик має негативний градієнт стосовно густини магнітних ліній, то у випадку коли МП має S-N (0,15Тл), (рис.1а) та S-N-S-N (0,3Тл), (рис.1б) напрямки, діамагнетик виноситься із зони дії магнітного поля в

робоче середовище, але з різною силою. Таким чином при густині магнітного потоку 0,15Тл, мідь з зони впливу МП виноситься у мастильне середовище, приймаючи безпосередню участь у створенні захисних плівок на поверхні тертя (рис. 2б) і 2е), при цьому вони займають площу на рівні 15...20% та відновлюють поверхню тертя до рівня 1,8...3,5 мкм (рис.3).

При збільшенні сили МП до 0,3Тл, збільшується площа покриття захисними плівками до 30...40% у мінеральній оливі (рис.2в) та до 20...25% у синтетичній (рис.2є). Проте і рівень відновлення досягає 2,5...4,5 мкм/км (рис.2).

При напрямку МП S-S-N-N (рис.1в) на середовище мінеральної оливи М10Г2к (рис. 2г) та синтетичної 5W40 (рис. 2ж), поверхні тертя характеризуються наявністю захисних плівок на рівні 5...8%. Це пояснюється тим, що діамагнетик мідь не переміщується через середовище у зону тертя, тому, що практично весь порошок міді знаходиться в зоні дії магнітного поля. Відповідно кількість міді для відновлення дуже мала, що й пояснює незначну кількість трибологічних плівок на поверхні тертя (рис. 2г) та рис. 2 ж). Відновлення у цьому випадку має найнижчий рівень 0,7...1,5 мкм (рис. 3).

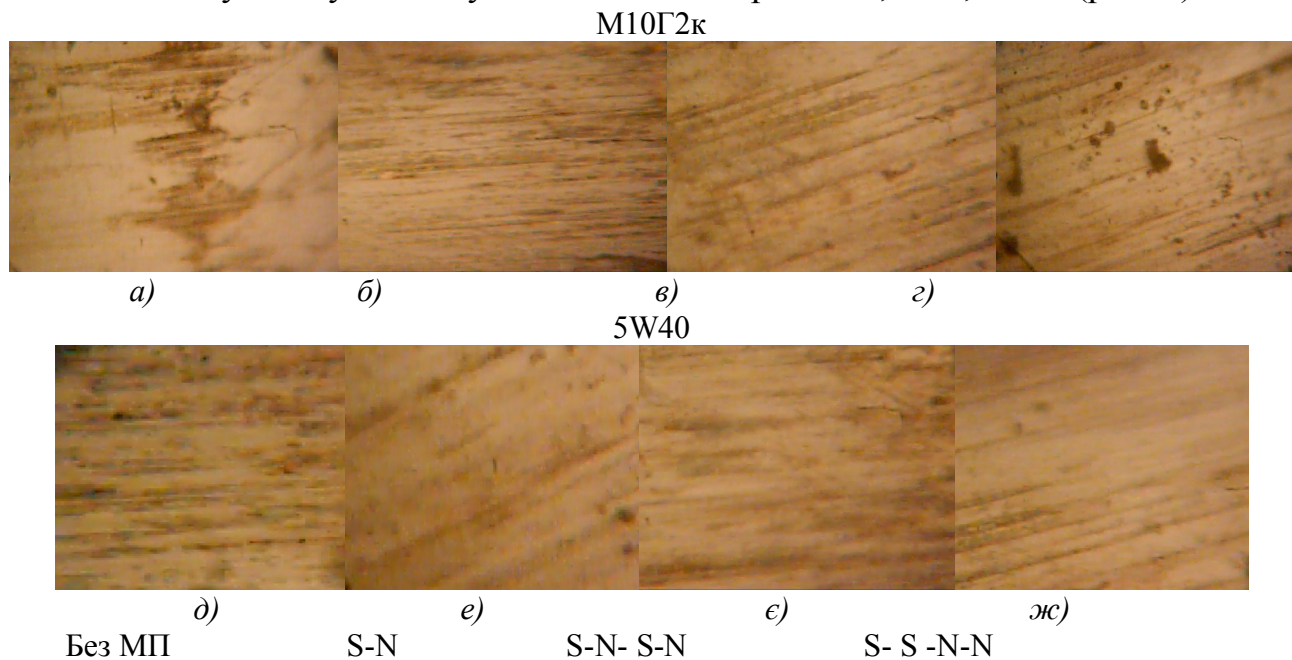


Рис. 2. Топографія поверхонь тертя зразків із сталі 45 по контртілу ЛС59-1 в оброблених магнітним полем середовищах оливи М10Г2к та 5W40 з додаванням нанопорошку міді при різних напрямленнях магнітних ліній та величиною магнітної індукції

Трибологічні дослідження без дії магнітного поля вказують на рівень відновлення до 2...3 мкм, що в незначній мірі відрізняється від впливу магнітного поля. Це пояснюється тим, що за умов відсутності впливу МП на робоче середовище діамагнетик мідь рівномірно розміщується по об'єму оливи та потрапляє на поверхню тертя, де приймає участь у створенні захисних плівок. Поверхня в цьому випадку має значну наявність захисних плівок (рис. 2а) і рис.2б), які характеризуються різкими краями, що провокує їх розтріскування.

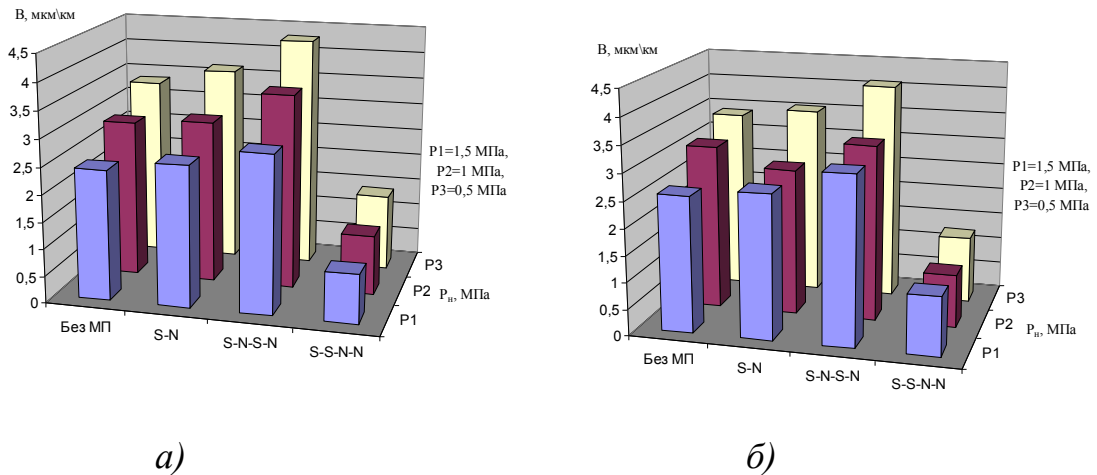


Рис. 3. Трибологічні параметри ферромагнетика сталі 45 по діамагнітному сплаву LC59-1 в середовищах а) M10Г2к та б) 5W40 з додаванням порошку діамагнетика міді, під дією МП, в залежності від навантаження

Таким чином, з представлених напрямків дії магнітних ліній (рис.1) на середовище, можливо зробити висновок, що енергія магніту більш суттєво діє на модифікатори оливи ніж на його структурну складову (диполі). Напрямки магнітних ліній S-N значно змінюють градієнт МП, що впливає на зміщення діамагнітної складової модифікуючої добавки в об'єм робочого середовища, збільшуючи при цьому його концентрацію в зоні тертя. Напрямок S-N-S-N крім доставки (за рахунок сили магнітного поля) діамагнітного модифікатора в зону тертя, вибудовує дипольну структуру оливи згідно дії електричного поля [10], що знижує рівень зношування поверхні, тому сумарна дія підвищує процес відновлення. Так на рис. 4 відображено хімічний аналіз поверхневої плівки робочого зразка із сталі 45 при дії магнітних ліній за напрямком S-N-S-N, який має однорідне МП в середині цугу і виштовхує з крайніх точок магніту діамагнітну складову.

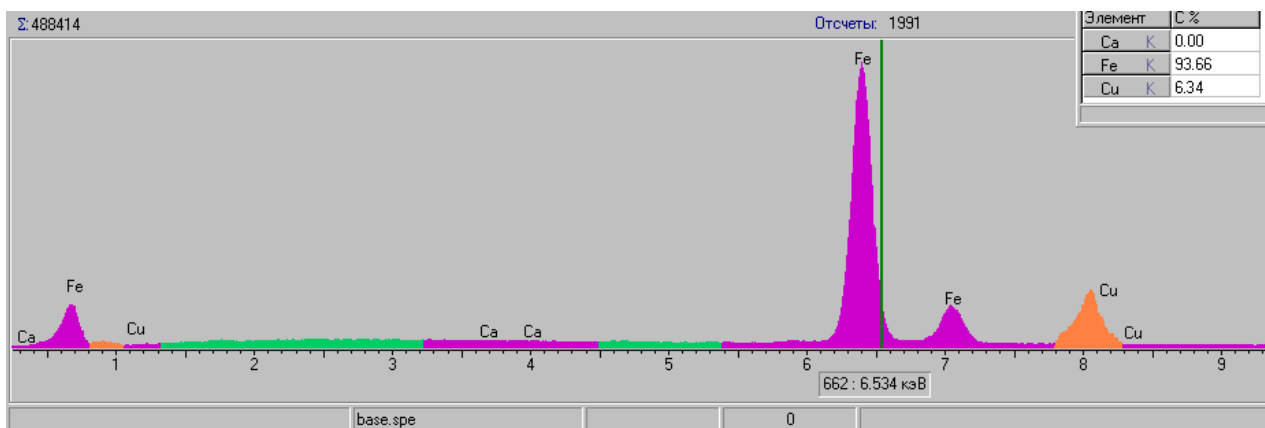


Рис. 4. Хімічний аналіз поверхневої плівки робочого зразка із сталі 45 при дії магнітних ліній на оливу M10Г2к за напрямком S-N-S-N

Виходячи з результатів хімічного аналізу, поверхня тертя характеризується наявністю міді у кількості 6,34%, що говорить про наявність нанопорошку міді саме при терті та про його активну участь у створенні

поверхневих плівок при S-N-S-N напрямку магнітного поля. Направлення магнітних ліній S-S-N-N, що проходять через середовище не забезпечує сприятливого дипольного розміщення в мастильному середовищі та необхідного спрямування модифікатора, що в свою чергу провокує малу складову відновлення (рис. 3).

## 6. Висновки

Розглянуто механізм відновлення поверхні тертя дією магнітного поля на робоче середовище модифікованим діамагнетиком та досліджено процеси, що проходять в оливах при взаємодії з магнітним полем. Встановлено, що відновлення в МП найбільш активно проходить з напрямком S-N-S-N та величиною магнітної індукції 0,3 Тл. Визначено, що у випадку використання діамагнетика міді у складі мастильного середовища, за умов впливу на нього МП при терті, рівень відновлення складає 2,5...4,5 мкм. В ході досліджень з'ясовано, що розміщення диполів дією МП знижує рівень зношування на 30%, що дозволяє подовжити термін експлуатації плунжерних пар.

## Література

1. Белый, В.А. Трибология. Исследования и предложения: Опыт США и стран СНГ / Под ред. В. А. Белого, К. С. Лудемы, К. Н. Мышкина. – М.: Нью-Йорк, 1993. – 175 с.
2. Белый, А.В. Структура и методы формирования износостойких поверхностных слоев / А. В. Белый, Г. Д. Карпенко, К. Н. Мышкин. – М.: Машиностроение, 1991. – 45с.
3. Розман, Г.А. Строение и свойства вещества (учебное пособие). Изд. 2-е, переработанное. / Г. А. Розман. – Псков, изд-во ПГПИ, 2001. – 292 с., рис. 131, табл 12.
4. Болотов, А.Н. Роль магнитного поля при трении поверхностей, смазываемых магнитным маслом / А. Н. Болотов, Н. В. Лочагин, Ю. О. Михалев // Трение и износ, 2010. – Т.9. – №5. – С. 870-877.
5. Лисіков, Є.М. Підвищення ресурсу трибосполучень технічних систем шляхом впливу електростатичного поля на мастильні матеріали / Є. М. Лисіков // Техніка та технологія виконання будівельних, колійних та перевантажувальних робіт на транспорті: Зб. наук. праць. Вип.58. – Харків: УкрДАЗТ, 2004. – С. 5-10.
6. Третьяков, И. Г. Влияние электромагнитной обработки на противоизносные свойства индивидуальных углеводородных соединений. Вопросы авиационной химмотологии / И. Г. Третьяков, Ю. И. Короленко // Межвуз. сб., ВЫП.2. – Киев, 1978. – С.141-144.
7. Подгорков, В. В. Несущая способность магнитных жидкостей / В. В. Подгорков // Трение и износ. – 1990. – Т11. – №2. – С.359-361.
8. Пат.70877 Україна. GO1N 3/56 Пристрій для дослідження поверхонь тертя в постійному рівномірному та нерівномірному магнітному полі / Свирид М.М., Кудрін А.П., Кравець І.А., Приймак Л.Б., Бородій В.М.; заявники і

власники Національний авіаційний університет – № u2012 70877; заявл. 19.03.2012; опубл. 25.06.2012, Бюл. №14.

9. Свирид, М.Н. Трибологические параметры сталей в обработанных магнитным полем смазывающих материалах / М. Н. Свирид, А. П. Кудрин, Л. Б. Приймак // Проблемы трибологии. – 2012. – №1 – С. 22-24.

10. Ахматов, А. С. Молекулярная физика граничного трения / А. С. Ахматов. – М.: Физ. гиз., 1963. – 472 с.

## References

1. Beluy V.A., Ludemy G. D., Myshkina K. N. Tribology. Researches and suggestions: Experience of the USA and countries of the CIS [Tribologiya. Isledovaniya I predlozheniya: Oпит USA I stran SNG]. – М.: New York, 1993. – 175 p.

2. Beluy A.V., Karpenko G. D., Myshkin K. N. Structure and methods of forming of wearproof superficial layers [Struktyra I metodu formirovaniya iznosostoykih poverhnostnih sloev]. – М.: Engineer, 1991. – 45 p.

3. Rozman, G.A. Structure and properties of matter (train aid). [Stroenie I svoystva veschestva]. – Pskov, PGPI, 2001. – 292 p., fig. 131, table 12.

4. Bolotov A.N., Lochagin N. V., Mikhalev Yu. O. Role of the magnetic field at the friction of surfaces, oiled magnetic butter [Rol magnitnogo pola pri trenii poverhnostey, smazuvaemih magnitnum polem]. Friction and wear, 2010. – Т.9. – №5. – p. 870-877.

5. Lisikov, E. M. An increase of resource of triboconnection of the technical systems is by influence of the electrostatic field on lubricating materials [Pidvuschtna resyrsy tribospolychen tehnicnih system shlahom vplyvy electrostatichnogo pola na mastilni materialu]. Technique and technology of implementation of, travel and shifting construction-works on a transport [Tehnika ta tehnologoya vikonanya bydivelnuh, kolyynuh ta perevantazhyvalnuh robit na transporti]. – 2004, №58. – P. 5-10.

6. Tret'yakov, I. G., Korolenko Yu. I. Influence electromagnetic treatment on antiwear properties of individual hydrocarbon connections. Questions of aviation chimmotologi [Vliyanie electromagnitnoy obrabotki na protivvoiznosnue svoystva individualnuh yglevodorodnuh soideneniy. Voprosu aviacionnoy himmotologiyi]. – 1978, №2. – Kiev. – P.141-144.

7. Podgorkov, V. V. To carry ability of magnetic liquids [Nesuschaya sposobnost magnitnuh zhidkostey]. Friction and wear. – 1990. – Т.11. – №2. – p. 359-361.

8. Svirid M.M., Kudrin A.P., Kravec I.A., Priymak L.B., Borodiy V.M. Pat.70877 Ukraine. GO1N 3/56 Device for research surfaces of friction in the permanent even and uneven magnetic field [Pristriy dla doslidzhtna poverhon tertya v postiynomu rivnomirnimy na nerivnomirnomu poli] – № u2012 70877; appl. 16.03.2012; publ. 25.06.2012, bull. №14.

9. Svirid, M.N., Kudrin F. P., Priymak L. B. Tribology parameters of steel in treated the magnetic field lubricating materials [Tribologicheskie parametru staley v

obrabotanut magnitnum polem smazuvayuschih materialah]. Problems tribology. – 2012. – №1 – P. 22-24.

10. Akhmatov, A. S. Molekulyar physics of border friction [Molekularnaya fizika granichnogo treniya]. Moscow, Fiz. gizas., 1963. – 472 p.

*В данной статье обсуждается влияние магнитной обработки моторных масел на формирование износостойкости пар трения и приводятся результаты некоторых из наших исследований в этой области. Основной целью исследований являлось изучение механизма восстановления поверхностей трения вызванное изменением состояния рабочей среды, за счёт её обработки магнитным полем и модифицированной диамагнитной присадкой. Для исследования был использован комплекс для изучения трибологических характеристик горюче-смазочных материалов, который был специально доработан, что позволило перемещать постоянные магниты, получая равномерные и неравномерные магнитные поля. При этом на частицы материала, которые получались в процессе изнашивания поверхностей трения, действовали магнитные силовые линии постоянного магнита. Установлено, что восстановление в магнитном поле наиболее активно проходит с направлением S-N-S-N и величиной магнитной индукции 0,3 Тл. Определенно, что в случае использования диамагнетика меди в составе масла, при условиях влияния магнитного поля (МП) на рабочую среду при трении, толщина поверхностной пленки достигает 2,5.4,5 мкм/км. Результаты исследований могут быть применены в области машиностроения для повышения надёжности деталей гидравлических систем. Результаты исследований могут быть применены экспертами трибологами, химмотологами, а также специалистами в области эксплуатации гидравлических и смазывающих систем наземной и авиационной техники.*

*Ключевые слова: магнитное поле, смазочная среда, масло, трение, изнашивание, восстановление, рабочий образец, контртело, модификатор, медь.*

Свирид Михаил Николаевич

Кандидат технических наук, доцент

Кафедра технологий изготовления и восстановления авиационной техники

Национальный авиационный университет

пр. Космонавта Комарова 1, Киев, Украина 03058

Сведения о наличии печатных произведений в общегосударственных и международных базах данных: ВАК Украины - 30  
безопасность.

Контактный тел.: (097)238-28-89

E-mail: [svirid\\_mn@ukr.net](mailto:svirid_mn@ukr.net)

Свирид Михайло Миколайович

Кандидат технічних наук, доцент



Кафедра технологій виготовлення і відновлення авіаційної техніки  
Національний авіаційний університет  
пр. Космонавта Комарова 1, Київ, Україна 03058  
Відомості про наявність друкованих праць в загальнодержавних і міжнародних  
базах даних: ВАК України – 30  
Контактний тел.: (097)888-20-23  
E-mail: [svirid\\_mn@ukr.net](mailto:svirid_mn@ukr.net)

Svirid Michael Mikolayovich  
Candidate of engineering sciences, associate professor  
Department of technologies making and renewal of aerotechnics  
National aviation university  
Prospectus Komarova 1, Kyiv, Ukraine, 03058  
Taking about the presence of printing works in national and international databases:  
НАС Ukraine – 30  
Contact tel.: +38(097)888-20-23  
E-mail: [svirid\\_mn@ukr.net](mailto:svirid_mn@ukr.net)

Трофимов Игорь Леонидович  
Кандидат технических наук, доцент  
Кафедра экологии  
Национальный авиационный университет  
пр. Космонавта Комарова 1, Киев, Украина 03058  
Сведения о наличии печатных произведений в общегосударственных и  
международных базах данных: ВАК Украины - 27  
безопасность.  
Контактный тел.: (097)238-28-89  
E-mail: [troffi@ukr.net](mailto:troffi@ukr.net)

Трофімов Ігор Леонідович  
Кандидат технічних наук, доцент  
Кафедра екології  
Національний авіаційний університет  
пр. Космонавта Комарова 1, Київ, Україна 03058  
Відомості про наявність друкованих праць в загальнодержавних і міжнародних  
базах даних: ВАК України – 27  
Контактний тел.: (097)238-28-89  
E-mail: [troffi@ukr.net](mailto:troffi@ukr.net)

Trofimov Igor Leonidovich  
Candidate of engineering sciences, associate professor  
Department of ecology  
National aviation university  
Prospectus Komarova 1, Kyiv, Ukraine, 03058

Taking about the presence of printing works in national and international databases:  
НАС Ukraine – 27  
Contact tel.: +38(097)238-28-89  
E-mail: [troffi@ukr.net](mailto:troffi@ukr.net)

Приймак Людмила Борисовна  
Кандидат технічних наук НАУ, аспірантка  
Кафедра технологій виготовлення і відновлення авіаційної техніки  
Національний авіаційний університет  
пр. Космонавта Комарова 1, Київ, Україна 03058  
Сведения о наличии печатных произведений в общегосударственных и международных базах данных: ВАК Украины - 10  
безопасность.  
Контактный тел.: (097)238-28-89  
E-mail: [Ludmila-joy@ukr.net](mailto:Ludmila-joy@ukr.net)

Приймак Людмила Борисівна  
Кандидат технічних наук НАУ, аспірантка  
Кафедра технологій виготовлення і відновлення авіаційної техніки  
Національний авіаційний університет  
пр. Космонавта Комарова 1, Київ, Україна 03058  
Відомості про наявність друкованих праць в загальнодержавних і міжнародних базах даних: ВАК України – 10  
Контактний тел.: (097)888-20-23  
E-mail: [Ludmila-joy@ukr.net](mailto:Ludmila-joy@ukr.net)

Pryimak Luidmyla Borysivna  
Candidate of engineering sciences NAU, graduate student  
Department of technologies making and renewal of aerotechnics  
National aviation university  
Prospectus Komarova 1, Kyiv, Ukraine, 03058  
Taking about the presence of printing works in national and international databases:  
НАС Ukraine – 10  
Contact tel.: +38(097)888-20-23  
E-mail: [Ludmila-joy@ukr.net](mailto:Ludmila-joy@ukr.net)

Паращанов Вячеслав Георгиевич  
Научный сотрудник, ведущий специалист  
Кафедра безопасности жизнедеятельности  
Національний авіаційний університет  
пр. Космонавта Комарова 1, Київ, Україна 03058  
Сведения о наличии печатных произведений в общегосударственных и международных базах данных: ВАК Украины - 3  
безопасность.  
Контактный тел.: (097)238-28-89

E-mail: [Ludmila-joy@ukr.net](mailto:Ludmila-joy@ukr.net)

Парашанов В'ячеслав Георгійович  
Науковий співробітник, провідний фахівець  
Кафедра безпеки життєдіяльності  
Національний авіаційний університет  
пр. Космонавта Комарова 1, Київ, Україна 03058  
Відомості про наявність друкованих праць в загальнодержавних і міжнародних  
базах даних: ВАК України – 3  
Контактний тел.: (097)888-20-23  
E-mail: [Ludmila-joy@ukr.net](mailto:Ludmila-joy@ukr.net)

Paraschanov Vjacheslav Georgievich  
Research worker, leading specialist  
Department of labour precoution  
National aviation university  
Prospectus Komarova 1, Kyiv, Ukraine, 03058  
Taking about the presence of printing works in national and international databases:  
НАС Ukraine – 3  
Contact tel.: +38(097)888-20-23  
E-mail: [Ludmila-joy@ukr.net](mailto:Ludmila-joy@ukr.net)