

Олександренко В.П.Хмельницький національний університет,
м. Хмельницький, Україна**ІНЕРТНОХІМІЧНИЙ ПРИНЦИП КЕРУВАННЯ
ПРАЦЕЗДАТНІСТЮ ТРИБОСИСТЕМ****Вступ**

Найбільш поширеними і універсальними системами, що забезпечують підвищення працездатності та довговічності вузлів тертя, а отже і машин у цілому є мастильні. Контактуючі робочі рідини із оточуючим повітрям призводять до розчинення його складових – кисню, азоту та інших в нафтопродукті. Розчинені у вуглеводневих рідинах гази знаходяться із оточуючою атмосферою у стані рівноваги, яка в умовах експлуатації може порушуватися. Так, в авіаційних бензинах [1] вміст розчиненого кисню в залежності від зовнішніх чинників змінюється в межах $0,0035 \dots 0,0437 \text{ м}^3/\text{м}^3$ або від 7 до 87 мг O_2 на 1 кг рідини.

Особливістю розчинення складових повітря в нафтопродуктах є превалююче надходження до них кисню в порівнянні з азотом. Тому, співвідношення нейтрального газу азоту і хімічно активного кисню у вуглеводневих рідинах нижче, ніж у повітрі, а це може впливати на їх експлуатаційні характеристики. Так, в повітрі співвідношення N_2 до O_2 величина постійна і складає 3,76 : 1 (79 % N_2 і 21 % O_2). При розчиненні газів у вуглеводневих рідинах це співвідношення змінюється в межах від 2,5 : 1 для низькомолекулярних вуглеводневих рідин до 2,05 : 1 для високомолекулярних. Крім того, в залежності від фракційного складу та в'язкості високомолекулярних вуглеводнів – мастил розчинність повітря (% об./МПа) становить [2] від 38,2 для МС 20 до 87,6 для МС 14 і 113,9 для МК-8 із вмістом кисню, відповідно, 11,1, 23,7 та 38,3 (% об.). Таким чином, кількість розчиненого в мастилах кисню може значно перевищувати його вміст в повітрі – вихідному середовищі, звідки він попадає у рідину.

Повітря проникає в мастило за рахунок процесів дифузії, швидкість якої значно зростає при перемішуванні рідини в порівнянні із рівноважними умовами. Згідно ГОСТ 9972 в мастилі ТП-22 кількість розчиненого в статичних умовах при нормальному тиску і температурі кисню складає 3,1 % (об.), а при інтенсивному перемішуванні, як встановлено проведеними нами дослідженнями, може досягати 15...20 (% об.) без поміченої присутності емульсії.

Неоднозначний вплив на розчинність у вуглеводневих рідинах повітря чинить наявність в них води. Вказується [1], що обводнення нафтопродуктів сприяє підвищенню розчинності газів, але причини такого результату не пояснюються. Між тим, вода не вступає в хімічну взаємодію з вуглеводнями, а є домішкою і в залежності від співвідношення розчинності повітря в основі – нафтопродукті і в домішці – воді повинна була б як підвищувати, так і знижувати вміст газів у їх суміші.

Розчиненому у вуглеводневих рідинах кисню належить особлива роль в процесах їх термоокислення та трибовзаємодії спряжених металевих поверхонь [3, 4, 5]. Робоче мастильне середовище під дією присутнього в ньому вільного O_2 одночасно піддається окисненню та розчепленню в результаті нагрівання – термічного впливу, що відбувається в об'ємі рідини та фрикційних процесів – на поверхні пар тертя. Відповідь на питання превалюючого впливу цих явищ на властивості нафтопродукту лишається відкритою.

Існує поняття термічної стабільності, тобто здатності вуглеводневого середовища зберігати свої первісні властивості при дії на нього високих температур [3]. На відміну від цього, здатність мастила зберігати свої вихідні властивості в зоні тертя металів можна назвати контактнотермічною стабільністю, пов'язаною із протіканням трибохімічних процесів. Таким чином, мастило повинно мати не тільки добрі протизношувальні властивості, але і високу контактнотермічну стабільність. Зміна основних властивостей мастила і є показником контактнотермічної стабільності, що має важливе значення при визначенні умов подовження ресурсу мастильних систем.

Дослідженнями [4] показано, що рідинне (мастильне) середовище, яке оточує зону тертя в принципі не перешкоджає надходженню молекулярного кисню до поверхонь, що труться. В роботі [5] встановлено кореляційний зв'язок між характером процесу тертя та вмістом у авіаційних паливах вільного кисню. Все це вказує на перспективність дослідження впливу розчиненого у оточуючому зону тертя рідинному середовищі кисню на зносостійкість спряжених поверхонь та термостабільність самих робочих мастильних рідин.

Методика досліджень

Дослідження впливу вмісту води на розчинність у нафтопродукті основних складових повітря проводили на спеціально створеному приладі [6]. В якості робочого середовища було вибрано турбінне мастило ТП-22, яке при використанні у опорах ковзання систем змащення парових турбін піддається значному обводненню [7]. Досліджувані мастильно-водні суміші піддавались ультразвуковій обробці на генераторі УЗДН-1 для утворення однорідної суспензії.

Протизносні властивості нафтопродуктів оцінювали на установці тертя КИИГА-2 [8] з вузлом тертя площина по площині, який розміщувався у герметичній камері. Регулювання вмісту розчиненого у рідині кисню проводили його поступовим витисненням із середовища шляхом продувки нейтральним газом азотом.

Для забезпечення збіжності результатів дослідження термоокиснювальних процесів у порівнянні із трибохімічними проводили на одній і тій же установці – КИИГА-2. Методика випробувань полягала у наступному. В камеру з вузлом тертя заливали мастило ТП-22. Нагрівали до температури 80°C, характерної для робочих рідин систем змащення, яку система термостатування установки підтримувала постійною на протязі всього експерименту, і починали реєструвати кінетику протікання термохімічних реакцій за зміною складу газового середовища. Після чого включали установку тертя і проводили аналогічний контроль зміни компонентного і кількісного складу газів, що відбувався внаслідок трибохімічних взаємодій. По завершенні експерименту відключали систему термостатування, мастило зливали із камери і проводили аналіз його кислотного числа (Чк) згідно ГОСТ 5985. За зміною величини Чк оцінювали інтенсивність і глибину окиснювальних процесів, що відбуваються із мастилом під час термічного і фрикційного впливу.

Аналіз складу газового середовища та його змін проводили хроматографічно згідно розробленої методики [9].

Результати досліджень та їх обговорення

Проведеними дослідженнями із впливу обводнення мастила на розчинність в середовищі компонентів повітря виявлено (рис. 1), що додавання води сприяє зниженню концентрації газів і при 10 %-му вмісті води воно становить 1,2 %. Пропорційне зменшення розчинності як кисню, так і азоту при зростанні в товарному мастилі об'єму води свідчить про чисто механічне явище. Вміст повітря у воді нижче, ніж у мастилі, відповідно, 4,2 та 9,35 % об. Тому додавання води в мастило викликає зниження його концентрації, в іншому випадку результат буде протилежний, що і спостерігали в роботі [1] як окремих випадок, а не закономірність.

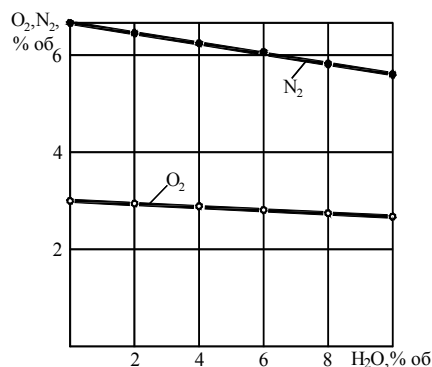


Рис. 1 – Вплив вмісту води в мастилі на розчинність газів

В системах змащування відбувається як розігрів мастила, що ініціює термоокиснювальні процеси, так і його участь в хімічній взаємодії з активованими в ході тертя металевими поверхнями. Проведені комплексні дослідження вказаних явищ показали (рис. 2), що кінетика як термоокиснювальних так і трибоокиснювальних процесів має лінійний характер, але їх інтенсивність значно різна.

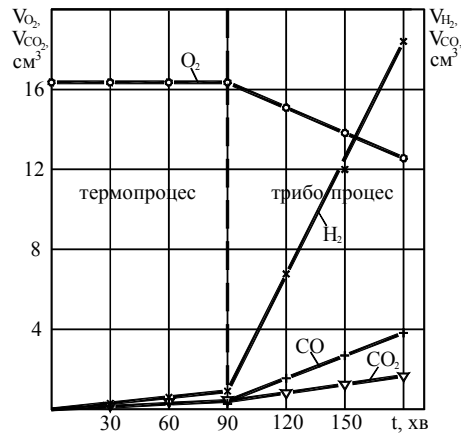


Рис. 2 – Кінетика зміни складу газового середовища при термо- та трибохімічних процесах в мастилі ТП-22

Після 90 хв. термічних випробувань не помічено суттєвої зміни у середовищі концентрації кисню, а швидкість виділення водню складає $4,1 \times 10^{-11}$ моль/с, вуглецьмістких газів CO та CO₂ - $1,8 \times 10^{-11}$ моль/с. Підключення процесу тертя спонукає різку активацію хімічних явищ (рис. 2): зростає швидкість поглинання кисню до $3,1 \times 10^{-8}$ моль/с, виділення водню до $1,5 \times 10^{-9}$ моль/с, диоксиду і оксиду вуглецю до $3,6 \times 10^{-10}$ і $1,2 \times 10^{-10}$ моль/с, відповідно. Таким чином, інтенсивність трибохімічних взаємодій, що відбуваються у мастилі і впливають на зміну його експлуатаційних властивостей на порядки вище за термохімічні. В першу чергу це пов'язано із трибоокиснювальними процесами, обумовленими наявністю у мастилі вільного кисню, швидкість яких в 20 і більше разів перевищує всі інші взаємодії.

Результатом окиснення вуглеводнів є утворення кислих продуктів полімеризації – спиртів, пероксидів, кетонів, смол, асфальтенів, які знижують експлуатаційні і корозійні властивості мастил. Наявність кислих з'єднань контролюється кислотним числом. Процес тертя обумовлює значну інтенсифікацію деструктивних окиснювальних процесів в мастилі, що свідчить зростання кислотного числа (рис. 3). Зниження концентрації розчиненого в нафтопродукті кисню призводить до уповільнення «старіння» мастила, накопичення в ньому кислих речовин і як результат, зменшення величини кислотного числа в 1,3 раза. Позитивний вплив знекиснення спостерігається і у випадку обводнення середовища (рис. 3).

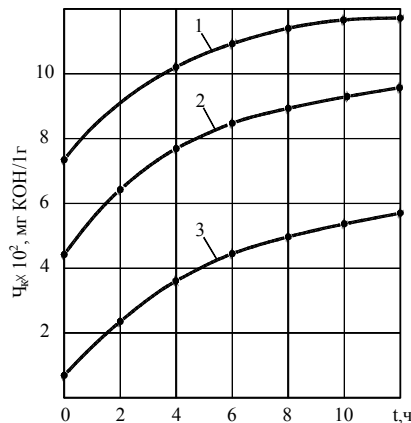


Рис. 3 – Вплив тертя (пара: сталь 45-бронза БрОЦ4-4-2,5) на кислотне число товарного мастила ТП-22 (1) та підданого знекисненню: 2 – ТП-22 товарне+N₂; 3 – ТП-22+10% · Н₂О+N₂

З іншого боку трибохімічні процеси формують опір спряжених поверхонь зношуванню. Зниження інтенсивності трибоокисних взаємодій в умовах динамічного контактування поверхонь, коли реалізуються ефективні релаксаційні процеси реологічної і хімічної природи, сприяє підвищенню зносостійкості трибо спряження. Це стосується як газових так і рідинних середовищ [10, 11].

Проведенні дослідження (рис. 4) турбінного мастила ТП-22 на парі тертя сталь 45–бронза БрОЦС-4-4-2,5 свідчить про позитивний вплив зниження вмісту у мастилі розчиненого кисню на опір спряжених матеріалів руйнуванню. Це пов'язано із гальмуванням трибоокиснення контактуючої пари,

зниженням на поверхні тертя кількості, а відповідно і товщини твердих продуктів взаємодії, що сприяє їх більш міцнішому зчепленню з металевою основою і зменшенню зносу. В результаті зниження вмісту розчиненого кисню до 0,5 % об. протизносні властивості товарного мастила підвищуються в 3, 4 рази, а із 10 %-им вмістом води в 2,5 рази, що сприяє нівелюванню негативного впливу обводнення на змащувальні властивості нафтопродукту.

Таким чином, наявність в мастилах значної кількості розчиненого кисню при нагріванні середовища і реалізації в ньому фрикційних процесів призводить до «старіння» нафтопродукту і зниження опору динамічно контактуючих поверхонь руйнуванню. Результати досліджень дозволяють запропонувати метод удосконалення систем змащення вузлів тертя для різних машин і механізмів. Його сутність полягає в забезпеченні гальмування в мастильному середовищі окисних процесів шляхом насичення системи нейтральним газом (азотом). В результаті дифузії розчиненого в нафтопродуктах кисню в цей газ відбувається їх очищення від кисню. Процес дифузії кисню із рідини в газ і розподіл кисню між вуглеводневим середовищем і газом іде до встановлення рівноваги. Проведення десорбції в замкненому об'ємі з відводом сприяє знекисненню не тільки рідини, але і повітряного простору над нею. Вказаний підхід буде сприяти підвищенню зносостійкості вузлів тертя і збільшенню терміну служби мастила (без заміни) за рахунок уповільнення «старіння». Для забезпечення мастильних систем необхідним обсягом нейтрального газу розроблено спосіб [12] одержання достатньої кількості інертногазового середовища безпосередньо в експлуатації на основі реакції термоокиснення некондиційного нафтопродукту киснем повітря, що пропускається через нагріту вуглеводневу рідину.

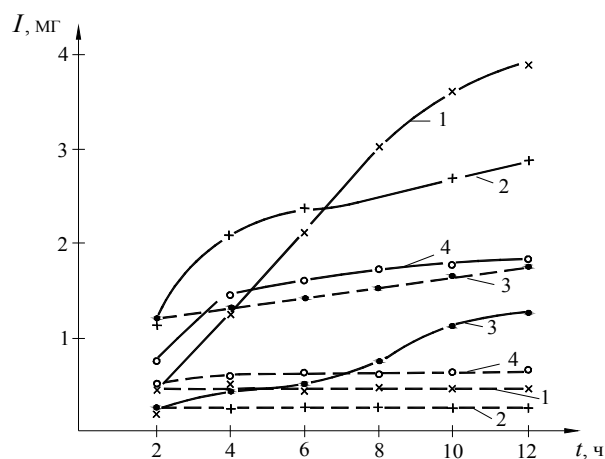


Рис. 4 – Вплив води і кисню, що присутні в мастилі ТП-22, на знос бронзи (суцільна лінія) і сталі 45 (переривчаста лінія):
 1 – ТП-22 товарне;
 2 – ТП-22 товарне +N₂;
 3 – ТП-22 + 10 % H₂O;
 4 – ТП-22 + 10 % H₂O+N₂

У результаті барботування повітря крізь шар термообробленого нафтопродукту відбувається бурхливе поглинання кисню, а азот, що залишився, після осушення транспортується до вузлів, що вимагають для своєї роботи інертногазового середовища. Для стимулювання окисних процесів у нафтопродукт додаються промивні води, що містять катіони заліза, магнію, міді.

Система містить (рис. 5) головний мастильний бак 1 (їх може бути два), до якого підключені послідовно мастильний насос 2, мастилоохолоджувач 3 (їх може бути два, у тому числі один резервний), фільтр 4, підшипники рідинного тертя 5.

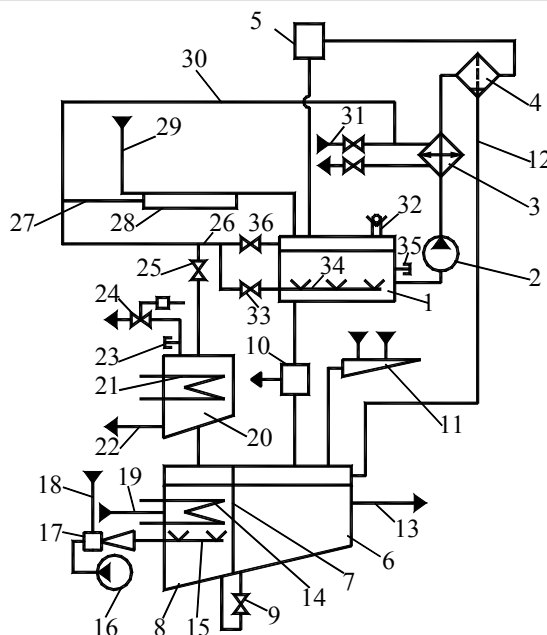


Рис. 5 – Мазильна система для машини

Резервуар 6 для збирання некондиційного мастила має перегородку 7, що відгороджує герметичний відсік 8, який поєднується байпасною лінією із засувкою 9. До резервуару 6 підключені зливи брудного мастила: від кондиціонера 10, що представляє собою комплекс із центрифуги, прес-фільтра, вакуумного апарата; від піддона 11 для збирання трапного мастила, протічок із під фланців та сальників насосів; від фільтра 4 по лінії 12. По трубі 13 відстоєне мастило відправляється на регенерацію. У відсіку 8 розміщений нагрівач 14, барботажна труба 15; зовні відсіку розміщений шламовий насос 16, інжекторний змішувач 17 з повітряпідвідним патрубком 18; до відсіку підключений штуцер 19 для уведення катіономістких водостоків. До верхньої частини відсіку підключений ресивер 20, усередині якого розміщений охолоджувач 21 (конденсатор водяних парів). У нижній частині ресивера 20 розміщений штуцер 22 для відводу води, у верхній - відбірник 23 проб газу для хімічного аналізу, запобіжний клапан 24 і магістральна засувка 25. Газопровід 26 підключений до бака з мастилом 1; газопровід 27 - до електричного теплового супутника 28, прокладеного під трубою 29, якою транспортується мастило зі складу в бак 1; газопровід 30 підключений до водяної порожнини резервного мастилоохолоджувача на ділянці відключеного підвідного водовода 31 (після засувки). Зворотній клапан 32 запобігає виникненню у баку 1 надлишкового тиску від інертного газу.

Мазильна система працює в такий спосіб: мастило з головного мазильного бака 1 насосом 2 подається на мастилоохолоджувач 3, потім на фільтр 4, нарешті, охолоджене і відфільтроване мастило підводиться до підшипників 5 рідинного тертя. Відпрацьоване мастило з підшипників повертається в бак 1, вода і шлам осаджуються на його дніще і відводяться до кондиціонера 10; очищене мастило від кондиціонера подається в цикл для повторного використання, а осад шламу, води, іржі, продуктів окиснювання скидається в резервуар 6. Сюди ж надходять зконцентровані потоки забрудненого мастила з піддону 11 і по лінії 12 осад від фільтра 4. Частина мастила по трубі 13 відправляється на регенерацію, а інша частина (найбільш забруднена і обводнена) по байпасу із засувкою 9 відводиться у відсік 8. Шламовий насос 16 забезпечує циркуляцію забрудненого мастила по контуру відсік 8 - інжекторний змішувач 17 - барботажна труба 15. Повітря по патрубку 18 підсмоктується інжектором і в диспергованому виді вводиться у відсік 8. За допомогою нагрівача 14 у відсіку підтримується температура 120...140°C. Внаслідок термоокиснювальної реакції кисень повітря інтенсивно витрачається на утворення осаджуючого шламу (продукту окиснювання вуглеводнів). Цю реакцію каталізують водостоки, що містять катіони заліза, магнію, міді, які вводяться у відсік по патрубку 19. Інертний газ азот, що залишився, відводиться в ресивер 20, водяні пари конденсуються на стінках охолоджувача 21 і дренуються через штуцер 22 назовні. Чистоту азоту визначають шляхом хімічного аналізу проби газу, відібраної через штуцер 23. Запобіжний клапан 24 зтриває залишки газу при неусталених режимах. При відкритій засувці 25 азот направляється до вузлів, що вимагають для своєї роботи інертногазового середовища: по газопроводу 26 - до головного мазильного бака з подачею через засувку 33 у барботажну лінію 34 для проведення знекиснення мастила, газовміст якого контролюється через пробовідбірник 35, або через засувку 36 у повітряний простір над мастилом для підтримки надлишкового тиску, регульованого зворотнім клапаном 32, який також забезпечує вихід інертного газу під час

продувки бака 1; по газопроводу 27 – до теплового супутника 28, транспортуючого (зі складу) мастилопроводу (труби 29); по газопроводу 30 – на консервацію водяної порожнини резервного мастилоохолоджувача (при відключеному водоводі 31).

Як показали експерименти, з 1 кг мінерального мастила або його відходів можна одержати ~10 нм³ азоту, після чого нафтопродукт перетворюється в асфальтосмолисте в'язке утворення.

Для прискорення процесу виходу азоту при термообробці некондиційного мастила вводиться каталізатор окисних процесів: катіони заліза, магнію, міді як продукти дисоціації солей FeCl₃, MgCl₂, CuSO₄ і інш. у різних скидних водах (промивних стоках теплообмінного устаткування, регенераційних водах системи хімічної підготовки води та інш.). Дослідним шляхом встановлено, що вода сама по собі є слабким каталізатором окисних процесів, а саме катіони Fe⁺, Mg⁺, Cu⁺ і інш. стимулюють «старіння» мастила - процес, що є в цьому випадку позитивним.

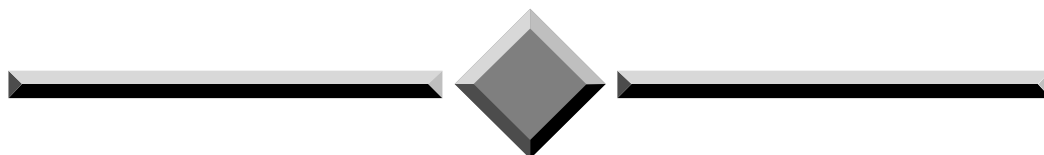
Висновки

Таким чином, розчинений у мастилі в рівноважних умовах кисень негативно впливає як на формування експлуатаційних показників трибовузлів так і їх систем змащування. З одного боку, його наявність обумовлює старіння мастила в результаті протікання окиснювальних термо- і трибохімічних процесів, причому швидкість останніх, обумовлених динамічним контактуванням поверхонь, на порядок вище. З іншого боку, в результаті надмірно високої інтенсивності взаємодії кисню із матеріалом трибоспряження на поверхні утворюється товстий шар твердих продуктів трибоокиснення слабо зчеплений із основою, що призводить до втрати парою тертя зносостійкості. Уповільнення інтенсивності окиснювальних процесів шляхом зниження вмісту в мастилі розчиненого кисню за рахунок насичення середовища нейтральним газом азотом сприяє комплексному підвищенню як окиснювальної стійкості так і протизношувальних властивостей товарного і обводненого мастила в 1,3...3,4 рази. На підставі отриманих результатів запропоновано інертнохімічний принцип удосконалення мастильних трибосистем.

Література

1. Физико-химические и эксплуатационные свойства реактивных топлив: Справочник / Н.Ф. Дубовкин, В.Г. Маланичева, Ю.П. Массур, Е.П. Федоров – М.: Химия, 1985. – 240 с.
2. Химмотология в гражданской авиации: Справочник / В.А. Пискунов, В.Н.Зрелов, В.Т. Василенко, А.А. Литвинов, К.С. Чернова – М.: Транспорт, 1983. – 248 с.
3. Большаков Г.Ф. Восстановление и контроль качества нефтепродуктов. – Л.: Недра, 1982. – 350с.
4. Виноградов Г.В. Механизм противоизносного и антифрикционного действия смазочных сред при тяжелых режимах граничного трения / Г.В. Виноградов, Ю.Я. Подольский // О природе трения твердых тел. – Минск: Наука и техника. – 1971. – С. 210-213.
5. Аксенов А.Ф. О некоторых особенностях при трении металлов в углеводородных жидкостях / А.Ф. Аксенов, В.П. Белянский. – К.: Знание, 1979. – 21с.
6. Олександренко В.П. Термохімія окиснення турбінних мастил у зв'язку із кисневмістом середовища // Вісник Хмельницького національного університету. – 2003. – № 3. – С. 263-266.
7. Казанский В.Н. Системы смазки паровых турбин. – М.: Энергия, 1974. – 224с.
8. Аксенов А.Ф. Трение и изнашивание металлов в углеводородных жидкостях. – М.: Машиностроение, 1977. – 152с.
9. А.с. 832398 СССР. Способ определения концентраций растворенных в жидкостях газов и устройство для его осуществления / А.Ф. Аксенов, В.П. Белянский, А.М. Гречкин, Н.И. Середя (СССР). – 1980.
10. Шевеля В.В. Процеси механічної і хімічної релаксації при динамічному навантаженні металів / В.В. Шевеля, В.П. Олександренко, Г.С.Калда // Машинознавство. – 2003. – № 2. – С. 21-26.
11. Олександренко В.П. Трибохімічні реакції і зносостійкість сталі в водних розчинах. Часть 1. Кинетика трибохіміческих процессов // Проблеми трибології = Problems of Tribology. – 2005. – № 2. – С. 165-171.
12. А.с. 1651012 СССР, МКИЗ F16N 17/00 Смазочная система для машин/В.Н. Казанский, В.П. Белянский, В.П. Олександренко (СССР). – №4703591/29; Заявлено 09.06.89; Опубл. 23.05.91, Бюл. № 19. – 3 с.

Надійшла 04.02.2009



ЧИТАЙТЕ
журнал
“P r o b l e m s o f T r i b o l o g y”
во всемирной сети
I N T E R N E T !
<http://www.tup.km.ua/science/journals/tribology/>