

**Аулін В.В.**Кіровоградський національний  
технічний університет,  
м. Кіровоград, Україна  
E-mail: [aulin52@mail.ru](mailto:aulin52@mail.ru)**ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНУ ПОВЕРХНЕВИХ  
ШАРІВ ДЕТАЛЕЙ ТРИБОТЕХНІЧНИХ  
СИСТЕМ КОЕРЦИТИМЕТРИЧНИМ  
МЕТОДОМ**

УДК 621.891:631.31

Розглянуто методику вимірювання коерцитивної сили. Показано можливості коерцитиметричного методу при аналізі напружено-деформованого стану поверхневих шарів деталей триботехнічних систем: побудова номограми; аналіз напружень I-III роду; побудова картограми з виділенням діапазонів значень коерцитивної сили, характерним різним станам; залежність коерцитивної сили від прикладеного навантаження та класифікація режимів експлуатації; статистичний розподіл коерцитивної сили та визначення залишкового ресурсу.

Дано експериментальні результати напружено-деформованого стану деталей триботехнічних систем ЦПГ дизеля КамАЗ-740. Наведені результати зносного стану і напружено-деформованого стану за коерцитивною силою, побудовано картограми і розподілу коерцитивної сили вздовж твірної гільз циліндрів і по куту сектору їх поперечного перерізу при напрацюванні дизеля мобільної сільськогосподарської техніки: 1600 мото-год., 3150 мото-год. – без відновлюючих дій; 3640 мото-год. – з технологічними та технічними відновлюючими діями.

Показано, що при комбінованому фізико-хімічному модифікуванні моторної оливи мідьвмісними присадками з накладанням електричного і магнітного полів знижується знос, створюються рівнозношувальні робочі поверхні з мінімальним напружено-деформованим станом та мінімальною епюрою зносу, подовжується ресурс деталей ЦПГ і дизеля в цілому.

**Ключові слова:** напружено-деформований стан, знос, коерцитивна сила, технічний стан, ресурс.

**Вступ**

Впроваджені на сьогодні технології зміцнення деталей триботехнічних систем (ТТС) практично не оптимізовані з точки зору динаміки їх стану, характеристик та властивостей поверхневих шарів в процесі експлуатації. В переважній більшості випадків виробником регламентується фазовий та елементний склад і при формуванні зміцнених шарів, але враховуються особливості умов їх експлуатації. Саме врахування технічних умов експлуатації і поточного напружено-деформованого і зносного станів деталей ТТС дає можливість визначити оптимальну технологію їх зміцнення і підібрати структурний та фазовий склад для отримання комплексу необхідних експлуатаційних властивостей, економії часу, трудових і матеріальних ресурсів [1].

Підбір структурного і фазового складів поверхневих шарів деталей ТТС з точки зору фізики твердого тіла передбачає врахування фізичних та фізико-хімічних характеристик та властивостей компонентів. При розв'язанні цього питання на увагу заслуговує така характеристика властивостей поверхневого шару деталей, як коерцитивна сила, за величиною якої можна отримати додаткову інформацію про структуру матеріалу, якість обробки, глибину і твердість зміцненого шару та інші. Це дозволить проектувати більш ефективні, для заданих умов експлуатації, зміцнені шари та способи їх формування [2 - 5].

**Мета і постановка задачі**

З'ясувати використання коерцитиметричного методу для визначення стану поверхневих шарів деталей триботехнічних систем.

**Методика вимірювання коерцитивної сили та можливості коерцитиметричного методу трибодіагностики технічного стану деталей машин**

Коерцитиметричний метод дає можливість експериментально визначити коерцитивну силу в локальних областях поверхні деталей, в яких компенсується тангенціальна складова напруженості магнітного поля магнітним полем обмотки потенціалометра [6]. Індикатором моменту компенсації служать два датчики Холла. Вимірювання напруженості магнітного поля здійснюється в області, обмеженій ферозондом потенціалометру. В даній роботі коерцитивну силу вимірювали за допомогою коерцитиметру КРМ-Ц з урахуванням удосконалення методу та конструкції [7].

Принцип роботи приладу полягає в намагнічуванні локальної ділянки поверхні деталі з наступним його розмагнічуванням наростаючим полем, фіксації напруженості поля, що відповідає коерцитивній силі матеріалу деталі і вимірюванню амплітуди сигналу з ферозонду. Прилад дозволяє контролювати якість поверхні після термічної, термомеханічної, хіміко-термічної обробок, а також визначати зміни цілої гами фізико-хімічних і структурних властивостей: твердості, границі текучості, границі міцності, хімічний склад, товщину зміцненого шару, напружено-деформаційний та зносний стани та ін. [2, 8]. Якщо всі фактори, які визначають стан поверхні деталі, крім одного, фіксовані, то в межах однієї конструкції, коерцитиметр дозволяє виявити аномалії, пов'язані зі станом деталей ТТС.

Дані вимірювань використано для визначення змін в зносному та напружено-деформованого стані робочих поверхонь гільз циліндрів дизелів мобільної сільськогосподарської техніки (МСГТ). Вимірювання коерцитивної сили в обраних локальних ділянках здійснювали наступним чином:

- на досліджувану ділянку щільно прикладали щупи ферозонду;
- подавали струм з пульту керування, для створення в матеріалі локального магнітного поля, яке компенсується наростаючим магнітним полем протилежного напрямку;
- фіксоване значення напруженості компенсованого магнітного поля (коерцитивну силу) отримували на цифровому табло приладу;
- вимірювання на поверхнях зразків і деталей проводили у вибраних напрямках з певним кроком.

За результатами вимірювань напружено-деформований стан (НДС) [8 - 10] поверхневого шару деталей можна моделювати даними коерцитивної сили, а механічні властивості контролювати у відповідності з ГОСТ 30415-96.

Для сталей з яких виготовлені деталі МСГТ, здійснено контроль за залишковими напруженнями з похибкою менше 5 % [9]. У більшості випадків коефіцієнт кореляції перевищує 0,85.

На ПК з використанням бази експериментальних даних будували номограми розподілу значень коерцитивної сили та її зв'язок з основними параметрами навантаження:  $H_{c0}$  – вихідний (ненавантажений) стан;  $H_{cm}$  – стан, що відповідає фізичній границі текучості матеріалу  $\sigma_m$ ;  $H_{ce}$  – стан, що відповідає границі його міцності  $\delta_e$ . В залежності від нормативних вимог по номограмі встановлювали критичну величину коерцитивної  $H_{cкр}$ , що відповідає допустимому значенню напруження при розрахунку на міцність  $\sigma_e$  поверхневого шару деталей ТТС. Оскільки коерцитивна сила  $H_C$  визначається векторною сумою діючих напружень то, при аналізі НДС, необхідно враховувати не тільки абсолютне значення напружень, але і їх напрямок по відношенню до розташування магнітних силових ліній в місцях вимірювань.

При відомих параметрах деталі, поверхневого шару, експериментально встановлюють залежність  $H_C$  від навантаження: відносне зростання коерцитивної сили у відповідності до прикладеного навантаження  $N$ :

$$\Delta H_C / H_{c0} = AN_e^2 + BN_e,$$

де  $A, B$  – коефіцієнти, що визначаються експериментально для даного матеріалу деталі.

Тонку структуру матеріалу поверхневого шару деталі обумовлюють напруження III роду, які залежать від складу, типу ґратки, наявності включень (наповнювачів) та щільності дислокацій. Напруження II роду формуються при термообробці і нанесенні покриттів. Вони збільшують коерцитивну силу і утворюють в матеріалі поля залишкових напружень певного знаку. Зовнішній вплив при нанесенні покриттів, модифікованих поверхневих шарів створюють напруження I роду, які, накладаючись на попередні напруження, можуть як зменшувати, так і збільшувати  $H_C$  в області пружних деформацій в залежності від напрямку дії останніх [9, 10]. При переході матеріалу в пружно-пластичну область переважний вплив здійснюють зовнішні напруження, під дією яких коерцитивна сила зростає за деякою закономірності з урахуванням  $H_{CB}$ , що відповідає границі міцності матеріалу деталі ТТС.

Таким чином, в процесі експлуатації деталей ТТС коерцитивна сила їх поверхневих шарів безпосередньо зв'язана з діючими напруженнями і накопиченими пошкодженнями в матеріалі та відповідним рівнянням зносостійкості коерцитивної сили, від напрацювання, за яким можна визначити залишковий ресурс. Абсолютна величина коерцитивної сили  $H_C$  пропорційна залишковим напруженням. З ростом залишкових напружень і мікропластичних деформацій коерцитивна сила досягає рівня  $H_{CT}$ , що відповідає границі текучості, а у випадку вичерпаності запасу міцності матеріалу – критичному значенню  $H_{CB}$  [8].

Використовуючи базу даних вимірювань коерцитивної сили на робочих поверхнях деталей ТТС за допомогою прикладних програм на ПК можна побудувати картограми розподілу коерцитивної сили. При цьому відтінки зафарблення областей картограми будуть відповідати різним діапазнам значень коерцитивної сили  $H_C$ , характерних для різних станів матеріалу у відповідності до величини залишкових напружень:  $H_{Ci} \approx 1,2 \dots 1,5 H_{c0}$  – матеріал перебуває у пружній області;  $H_{Ci} \approx 1,5 \dots 1,6 H_{c0}$  – матеріал частково перейшов у зону пластичних деформацій;  $H_{Ci} \approx 1,6 \dots 1,7 H_{c0}$  – матеріал пропрацював у пружно-пластичній області;  $H_{Ci} \approx 1,7 \dots 1,9 H_{c0}$  – матеріал перейшов із зони пластичної деформації в зону руйнування. Найбільшу небезпеку являють ділянки поверхні деталі у яких  $H_{Ci}$  наближається до  $H_{CB}$  або  $H_{Ci} > H_{CT}$ , оскільки при цій умові поверхневий шар матеріалу деталі переходить в пластичний стан, а потім знеміцнюється і можуть утворюватись корозійно-втомні тріщини, які в процесі експлуатації перетворюються в еліптичні плоскі дефекти, критичні розміри яких можна розрахувати за допомогою методів лінійної механіки руйнування [11]. Щоб визначити локальні ділянки поверхні деталі з підвищеною концентрацією напружень вимірювання коерцитивної сили проводили у двох взаємноперпендикулярних напрямках.

Змінюючи навантаження і вимірюючи коерцитивну силу в місцях максимальної концентрації напружень, можна умови експлуатації деталі зв'язати зі значеннями коерцитивної сили і класифікувати режими навантаження ТТС в залежності від стану поверхневого шару: надійної експлуатації –  $H_C \leq H_{Cmp}$ ; контрольованої експлуатації –  $H_{Cmp} \leq H_C < H_{CB}$ ; критичному режимі експлуатації –  $H_C \geq H_{CB}$ .

Стан поверхневих шарів конкретних матеріалів деталей ТТС та їх режимів експлуатації відповідає фізичним характеристикам механічних властивостей: границя пружності, текучості і міцності матеріалу [10, 11]. Наочним прикладом використання фізичних і механічних критеріїв оцінки стану матеріалу може служити статистичний аналіз розподілу коерцитивної сили, вимірюваної на робочій поверхні деталі. Аналіз вибірки із сукупності вимірювань свідчить, що в режимі надійної експлуатації працює переважно їх більшість (80 %). Розподіл величини коерцитивної сили підкоряється закону Вейбулла-Гнеденка та нормальному закону розподілу Гаусса, в режимі контрольованої експлуатації знаходиться до 18 %, а в критичну зону попадають до 2 % обсягу бази даних, тобто закон розподілу дає можливість рекомендувати параметри максимальних значень коерцитивної сили, при яких спостерігається той чи інший режим експлуатації матеріалів поверхневих шарів деталей ТТС та нанесених на них покриттів.

Коерцитивна сила є також ефективною характеристикою оцінки ступеню накопичення утомних змін в матеріалі поверхневих шарів деталей. Її величина може зростати у разі накопичення утомних змін від початку експлуатації до стану руйнування.

Через те, що в процесі тертя і зношування зменшується товщина початкового зміцненого шару, змінюються його фізико-механічні характеристики, зростають питомі робочі навантаження, матеріал переходить у пружно-пластичний стан, зростають локальні напруження розтягу. Це супроводжується різким зростанням коерцитивної сили. При додатковому зношуванні і корозії в локальних ділянках коерцитивна сила зростає ще більше [5, 10].

Таким чином коерцитиметричний метод є однією із складових в системі трибомоніторингу технічного стану деталей МСГТ [6]

### Результати досліджень напружено-деформованого та зносного станів гільз циліндрів дизелів МСГТ коерцитиметричним методом

Виявлено, що при робочому ході поршня ЦПГ дизеля КамАЗ-740 область найбільших навантажень локалізовано в верхній частині гільзи циліндрів на відстані 12...68 мм, і проявляється чітко виражений характерний градієнт напружень, а в момент загорання робочої суміші - пік навантаження зміщується вгору, що пояснюється комбінацією впливів тиску, температури, хімічної адсорбції та дифузії взаємодіючих речовин. Це свідчить про те, що внутрішні напруження в деталях ТТС дизеля перерозподіляються за глибиною поверхневого шару їх матеріалу. Результати експериментальних досліджень підтверджують, що у локальних областях максимальних напружено-деформованих зон спостерігається найбільший знос [12]. Розподіл термонапружених пластичних деформацій матеріалу гільзи циліндрів обумовлено сумарним впливом визначальних факторів, тобто проявляється картина переорієнтації впливів при відповідних тактах роботи циліндра, а знос розглядається як результат сукупності дій чинників впливу. Результати аналізу і розрахунку поля напружень, проведених методом кінцевих елементів за допомогою пакету COSMOSWorks інтегрованого в CAD-систему SolidWorks [13] для ТТС "гільза циліндрів-поршневе кільце" наведено на рис. 1.

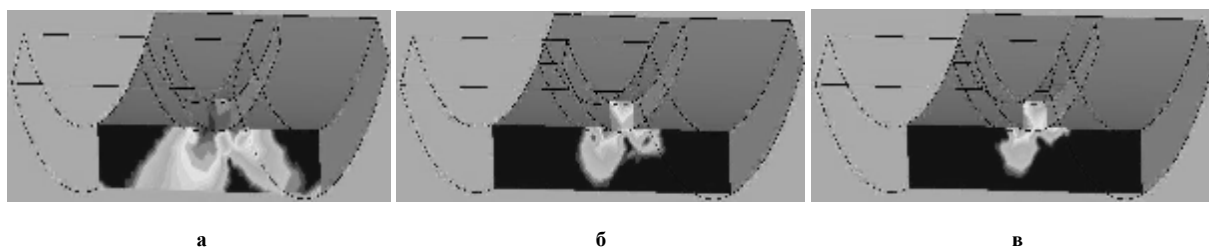


Рис. 1 – Характерні розподіли полів напружень в перерізі спряження зразків "гільза циліндрів-поршневе кільце" при випробуваннях на машині тертя 77MT-1 з використанням базової оливи (а), модифікованої електричним полем (ЕП) (б) та магнітним полем (МП) (в)

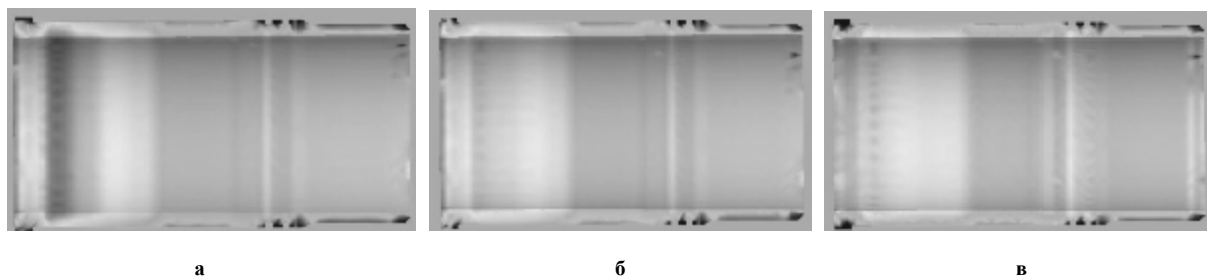


Рис. 2 – Характерні розподіли полів напружень робочих поверхонь гільз циліндрів з використанням в спряженні "гільза циліндра-поршневе кільце" базової оливи, композиційної оливи, модифікованої ЕП (б) і МП (в)

Можна бачити, що розподіл напруження при навантаженні в даній ТТС залежить від умов тертя та зношування, а також заслуговує на увагу розвинутий крайовий ефект. Нерівномірний характер НДС робочої поверхні гільз циліндрів спостерігається при різних видах модифікування моторної оливи (рис. 2).

Картини напруженого стану свідчать, що найбільш напруженою в гільзах циліндрів є область ВМТ, область верхнього компресійного кільця. Це підтверджують і результати зношування. Розподіл напружень за твірною гільзою подібний розподілу величини зносу вздовж неї.

Результати зносу гільз циліндрів дизелю КамАЗ-740 МСГТ, виміряних за допомогою мікрометражу при різних напрацюваннях, представлені на рис. 3.

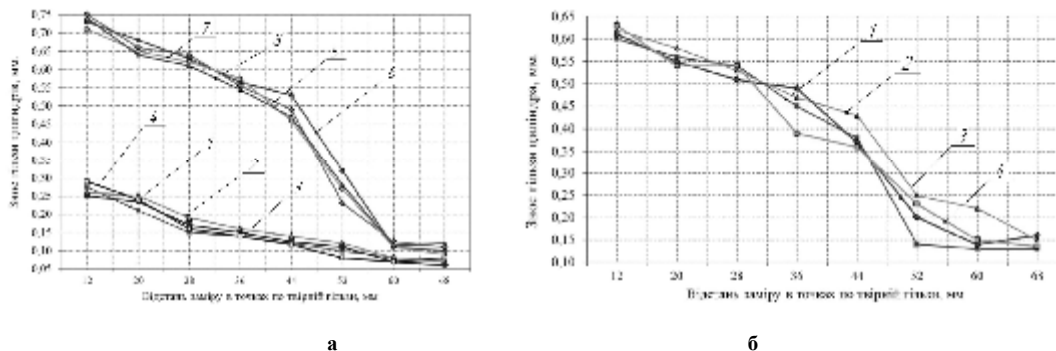


Рис. 3 – Розподіл усередненого зносу по твірній та по діаметру гільз циліндрів агрегату КамАЗ-740 при напрацюванні 1600 (криві 1-4) та 3150 мото-год. (криві 5-8):

1, 5 – паралельно осі колінчастого валу, 0°; 2, 6 – з відхиленням 45°; 3, 7 – з відхиленням 90°; 4, 8 – з відхиленням 135° (а); при напрацюванні 3640 мото-год. і виконанні комплексу технічних та технологічних дій: 1 – паралельно осі колінчастого валу, 0°; 2 – з відхиленням 45°; 3 – з відхиленням 90°; 4 – з відхиленням 135° (б)

Аналіз отриманих даних дає можливість твердити, що діаметри гільз циліндрів в результаті зношування при напрацюванні 1600 мото-год. (рис. 3, а, криві 1 - 4) не виходять за межі граничних або ремонтних розмірів. Це свідчить про те, що ці гільзи, за даним показником, здатні виконувати свої функції. Найбільший знос спостерігається в області першого компресійного кільця. Далі по твірній гільзі знос експоненціально зменшується. Знос вздовж кутових сегментів по колу даної гільзи циліндрів суттєво не відрізняється, але при зміні режимів тертя можуть фіксуватися істотні відхилення. Результати вимірювання зносу гільз циліндрів після напрацювання 3150 мото-год. (рис. 3, а, криві 5 - 8) порівняні з гранично допустимими величинами і гільзи потребують профілактичних та ремонтних заходів щодо приведення їх параметрів до значень працездатного стану.

Інтенсивність зносу гільз циліндрів при напрацюванні 1600 мото-год. складає  $3,625 \cdot 10^{-4}$  мм/мото-год, а при 3150 мото-год. ця величина збільшується у 1,20 ... 1,45 рази і складає  $4,667 \cdot 10^{-4}$  мм/мото-год. Підвищення інтенсивності зносу вказує на недостатню ефективність виконуваних технологічних та технічних дій по підтриманню стану деталей дизеля і безпосередньо ЦПГ.

Результати зносу гільз циліндрів агрегату КамАЗ-740 при технологічних і технічних заходах, що підвищують їх зносостійкість після напрацювання 3640 мото-год. представлені на рис. 3, б, криві 1 - 4. В цьому випадку спостерігається картина розподілу зносу по твірній гільзі циліндра аналогічна напрацювання 1600 мото-год. Даний факт свідчить про більш якісне виконання операцій по підтриманню технічного стану гільз циліндрів. Виходячи з отриманих результатів (рис. 3) можна говорити про можливість збільшення очікуваного ресурсу гільз циліндрів на 17 ... 25 %, а в деяких випадках у декілька разів більше [10].

Спрацювання гільзи циліндрів має чітко виражену границю зношування на відстані 12 мм від її верхньої частини, що обумовлено конструктивними особливостями - верхнє компресійне кільце на цю відстань не доходить до краю гільзи і на ній зношування практично не відбувається. Також відсутність або незначний знос спостерігається від НМТ і до краю гільзи знизу, де діаметри гільз циліндрів майже не змінюються і не виходять за допустимі межі.

Проведення мікрометражу гільз циліндрів при визначенні зносу, досліджуваних дизелів КамАЗ-740 МСГТ дало змогу оцінити рівень адекватності результатом отриманим коерцитиметричним методом при визначенні стану матеріалу деталей ЦПГ. Картограми, побудовані на основі поля вимірюваних значень коерцитивної сили на робочій поверхні гільз циліндрів дизеля КамАЗ-740 наведені на рис. 4.

Зони одного кольору свідчать про однакові значення  $H_c$ , а зміна кольору від червоного до фіолетового – про спадання від максимального до мінімального їх значення.

Розподіл значень величини  $H_c$  по твірній при вимірюванні по кожному з секторів і різному напрацюванні агрегату наведено на рис. 5.

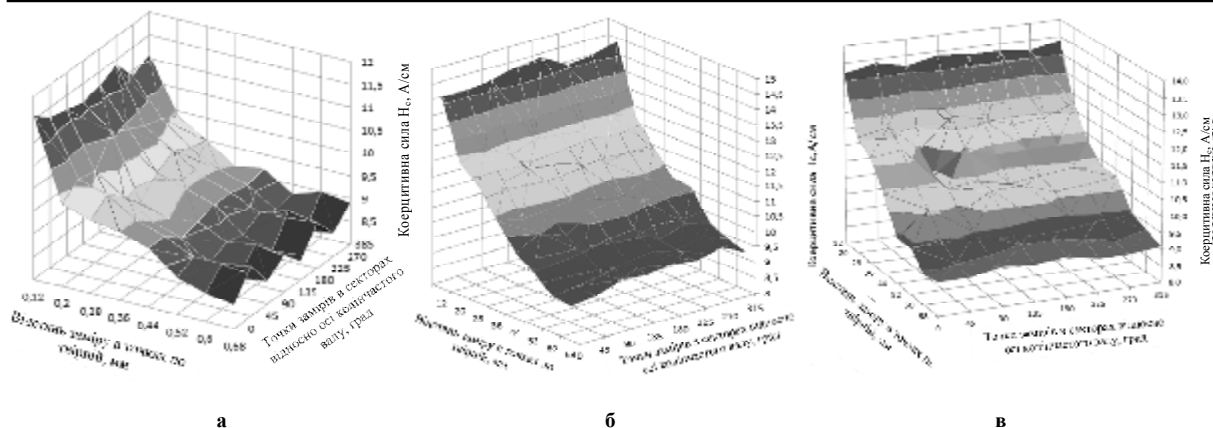


Рис. 4 – Картограма коерцитивної сили на робочій поверхні (розгортка) гільзи циліндрів дизеля КамАЗ-740: при напрацюванні 1600 мото-год. (а); при напрацюванні 3150 мото-год. (б); при напрацюванні 3640 мото-год. (в) після технологічних і технічних дій

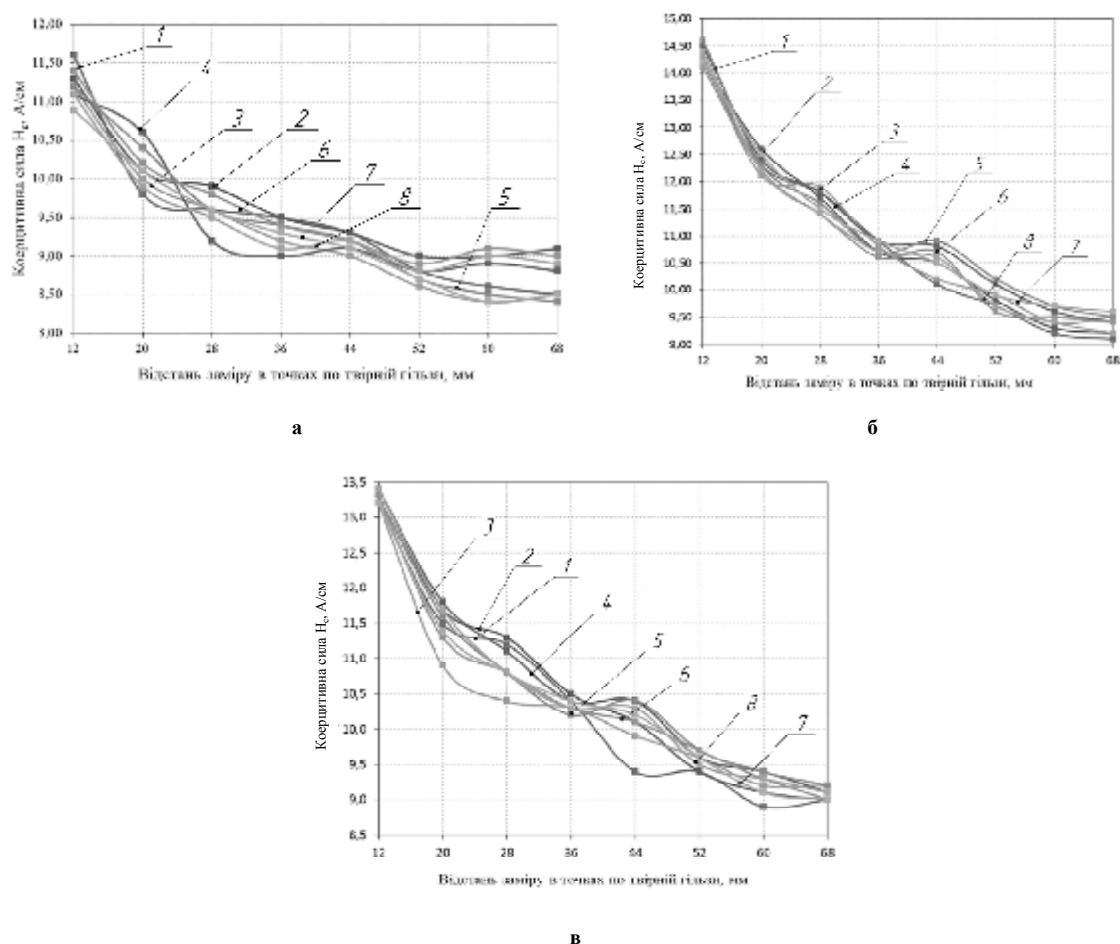


Рис. 5 – Залежність коерцитивної сили від відстані замірів в точках по твірній гільзи циліндрів агрегату КамАЗ-740 при напрацюваннях 1600 мото-год. (а), при напрацюваннях 3150 мото-год. (б), при напрацюваннях 3640 мото-год. (в) після технологічних і технічних дій:  
 1 – паралельно осі колінчастого валу, 0°; 2 – з відхиленням 45°;  
 3 – з відхиленням 90°; 4 – з відхиленням 135°; 5 – відхиленням 180°;  
 6 – відхиленням 225°; 7 – відхиленням 270°; 8 – відхиленням 315°

При цьому спостерігається деяке розходження порядку 0,7 ... 0,9 А/см у нахилі експонент по секторам вимірювання. Можна бачити, що розподіл має експоненціальний характер зміни коерцитивної сили по твірній гільзи циліндрів. Нахил експоненти залежить як від напрацювання, так і від технологічних та технічних дій по відновленню зношеної поверхні гільзи циліндрів триботехнічними технологіями [14].

Розподіл коерцитивної сили по секторах гільзи циліндрів на фіксованій відстані від ВМТ наведено на рис. 6.

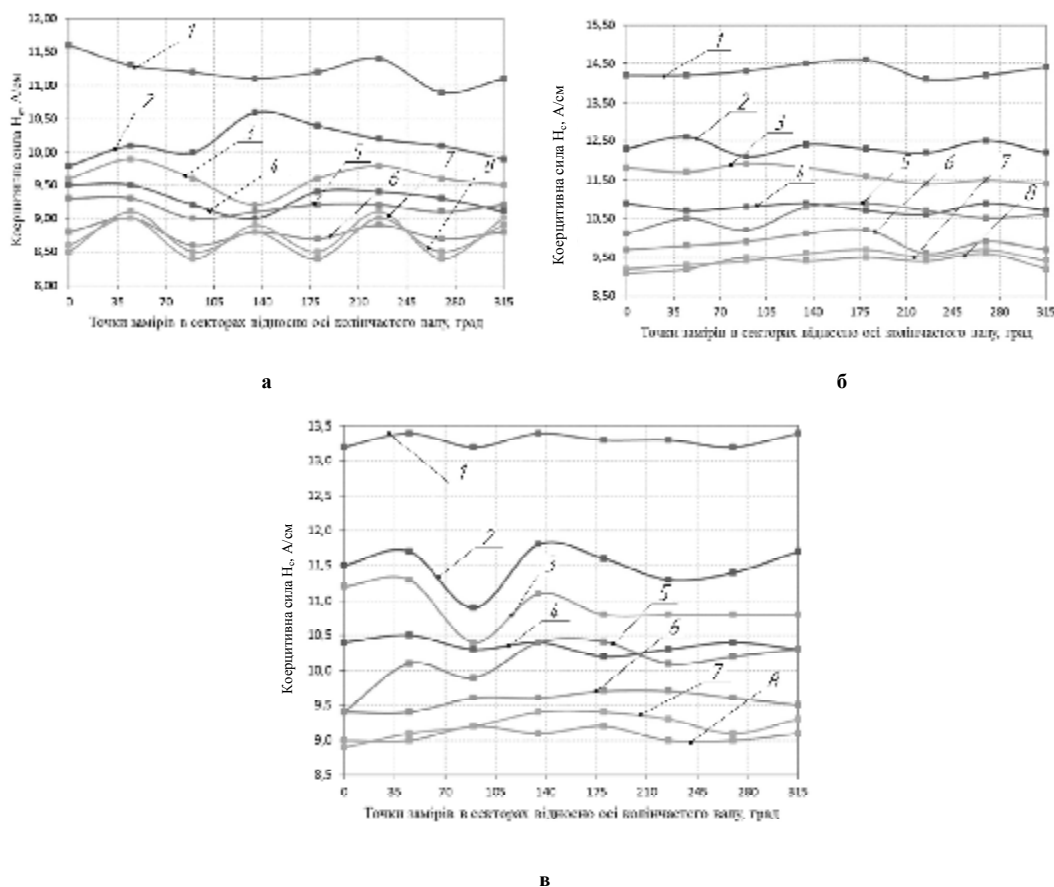


Рис. 6 – Залежність коерцитивної сили від кута сектору поперечному перерізу гільзи циліндрів для кожної точки твірної на відстані:

1 – 12 мм; 2 – 20 мм; 3 – 28 мм;

4 – 36 мм; 5 – 44 мм; 6 – 52 мм; 7 – 60 мм; 8 – 68 мм при напрацюванні 1600 мото-год.

(а), 3150 мото-год. (б) та при напрацюванні 3640 мото-год. (в) після технологічних і технічних відновлюваних дій

На однаковій відстані по твірній розподіл значень практично однаковий (відхилення 5 ... 10 %). З віддаленням точок від ВМТ значення  $H_c$  зменшується: чим далі точка, тим менші значення  $H_c$ .

Порівняльний аналіз отриманих результатів свідчить, що технологічні і технічні дії поліпшують технічний стану гільз циліндрів оскільки величина коерцитивної сили знижуються на 12 ... 16 %, в той час коли напрацювання збільшується на 14 %, що свідчить про їх кращий технічний стан.

Аналіз значень розподілу коерцитивної сили гільз циліндрів дизеля КамАЗ-740, представлених на картограмах, дає можливість отримати об'єктивну картину НДС, а отже і передумови зміни ресурсних характеристик. Тенденція розподілу коерцитивної сили аналогічна проведеним результатам замірів зносу у визначених точках гільзи циліндра. Значний рівень збіжності результатів (більш ніж з 80 % імовірністю), співрозмірність, повторення "рельєфу", отриманого за даними проведеного мікрометражу і коерцитиметричного методу, дозволяють обґрунтовано прогнозувати ресурс гільз циліндрів.

При проведенні технічних і технологічних дій спостерігається менша динаміка наростання напружень в матеріалі гільз циліндрів, але закономірність взаємовпливу коерцитивної сили  $H_c$  та геометричних параметрів має місце. Стосовно наявного стану гільз циліндрів дизеля КамАЗ-740, експлуатованого після певних технічних і технологічних дій, можна стверджувати, що навіть при більшому напрацюванні (3640 мото-год. проти 3150 мото-год.), даний дизель, за цими параметрами ( $H_{cmax} \dots H_{cmin}$ : 14,6 ... 9,1 А/см), знаходиться в кращому технічному стані ( $H_{cmax} \dots H_{cmin}$ : 13,4 ... 9,0 А/см). При цьому відносна зміна характеристик матеріалу гільз циліндрів склала – 37,67 %, і 32,84 %.

## Висновки

Використання коерцитиметричного методу визначення стану ЦПГ дизелів МСГТ дозволяє отримати адекватну картину зміни НДС поверхні матеріалу, що викликано зміною геометричних розмірів де-

талей при зношуванні та наявності макро- та мікродефектів. Загальний вид спрацювання гільзи циліндрів узгоджується "рельєфом", створеним значеннями коерцитивної сили в точках замірів по поверхні.

Отримані результати свідчать, що характером розподілу напружень в робочих поверхнях гільз циліндрів можна керувати модифікуючими технічними або технологічними діями впливаючи на показники і властивості оливи і робочих поверхонь деталей ТТС. Показано, що найбільш ефективно може впливати на поверхні тертя використовуючи комбіноване фізико-хімічне модифікування моторної оливи мідьвмісною присадкою з накладанням ЕП і МП. Крім цього, змінюючи величини цих полів та концентрації функціональних присадок до моторної оливи, можна суттєво знижувати знос, створювати рівнозношувальні робочі поверхні з мінімальною лінійною епюрою зносу та подовжити ресурс деталей ЦПГ і дизеля в цілому.

### Література

1. Григорьев М.А. Конструкторско-технологическое обеспечение надежности ДВС / М.А. Григорьев, В.М. Енукидзе // Автомобильная промышленность. – 1988. – № 8. – С. 8-12.
2. Аулін В.В. Дослідження стану зміцнених поверхневих шарів матеріалів за коерцитивною силою/ В.В. Аулін, В.М. Бобрицький, В.М. Власовець та ін. // Проблеми трибології. – 2006. – №2. – С. 80-87.
3. ДСТУ 2389-94 Технічне діагностування та контроль технічного стану. Терміни та визначення. – К.: Держстандарт України, 1994. – 24 с.
4. Мишин М.Д. Магнитные материалы / М.Д. Мишин – М.: Высш.школа, 1981.– 335с.
5. Лившиц Б.Г. Физические свойства металлов и сплавов / Б.Г. Лившиц, В.С. Карпошин, Я.Л. Линецкий – М.: "Металлургия". – 1980. – 320 с.
6. Аулін В.В. Система трибомоніторингу технічного стану дизельного ДВЗ/В.В. Аулін, Т.С. Скобло, О.Ю. Жулай та ін. // Проблеми трибології. – 2006. – №2 – С. 63-79.
7. Пат. 23040 Україна, МПК G01R 33/02. Спосіб вимірювання напруженості магнітного поля в локальних ділянках виробів із феромагнітних матеріалів / Аулін В.В., Жулай О.Ю., Бобрицький В.М., Лисенко С.В. та ін.; заявник і патентотримувач Кіровоградський національний технічний університет. – №u200610907; заявл. 16.10.2006; опубл. 10.05.2007; Бюл.№6.
8. Христенко И.Н. Влияние пластической деформации на коэрцитивную силу малоуглеродистой стали / И.Н. Христенко, В.В. Кривова // Дефектоскопия. – 1984. – № 6. – С. 90.
9. Горкунов Э.С. Моделирование диаграммы деформирования на основе измерения ее магнитных характеристик / Э.С. Горкунов, В.П. Федоров, А.Б. Бухвалов, И.Н. Веселов // Дефектоскопия. – 1997. – № 4. – С. 87-95.
10. Попов Б.Е. Магнитный контроль напряженно-деформированного состояния и остаточного ресурса подъемных сооружений / Б.Е. Попов, В.Ф. Мужичкий, Г.Я. Безлюдько, Е.А. Левин // Диагностика. – 1998. – № 3. – С. 40-44.
11. Аулін В.В. Фізичні основи діагностики характеру руйнування деталей / В.В. Аулін, О.Ю. Жулай та ін. // Вісник Харківського держ. техн. університету сільск. господарства. / Вип. 24. Техн. сервіс АПК, техніка та техн. у сільськогосподарському машинобудуванні. – Харків. – 2004. – С. 116-121.
12. Аулін В.В. Вплив напружено-деформованого стану циліндричної деталі на її зносостійкість/ В.В. Аулін, В.О. Дубовик, М.В. Красота // Зб. наук. праць Луганського національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. – Луганськ: Видавництво ЛНАУ. – 2006. – №64(87). – С 26-30.
13. Алямовский А.А. SolidWorks / COSMOSWorks. Инженерный анализ методом конечных элементов /А.А. Алямовский. – М.: ДМК Пресс, 2004. – 432 с.
14. Аулин В.В. Технологии триботехнического восстановления изношенных поверхностей деталей с использованием композиционного масла и воздействия физических полей / В.В.Аулин, С.В.Лысенко // Проблемы автомобильно-дорожного комплекса России: Эксплуатация и развитие автомобильного транспорта [Текст]: материалы X междунар. заочн. науч.-техн. конф. 21 ноября 2013 г., Пенза / [редкол.: Э.Р. Домке (отв. ред.) и др.]. – Пенза: ПГУАС, 2013. – С. 7-16.

Поступила в редакцію 07.10.2014

**Aulin V. Research on the state of the surface layers of parts of tribological systems coercimetric method.**

The method of measuring the coercive force. The possibilities coercimetric method in the analysis of stress-strain state of the surface layers of parts of tribological systems: the construction of the nomogram; stress analysis I-III kind; construction of cartograms to select a range of values of the coercive force characteristic of the various states; dependence of the coercive force of the applied load and classification of modes of operation; statistical distribution of the coercive force and determination of residual life.

Given the experimental results of the stress-strain state components of tribological systems CPG diesel КаМА3-740. The results given the wear condition and the stress-strain state in the coercive force, built cartograms coercive force distribution along the generatrix of the cylinder liners and the angle of the sector of the cross-section if the service life of diesel mobile agricultural machinery in 1600 moto-h., 3150 moto-h. – without remedial action; 3640 moto-h. – technological and technical regenerates.

It is shown that with the combined physical and chemical modification of copper-based engine oil additives with the imposition of the electric and magnetic fields, reducing wear, created equal to the wear work surfaces with a minimum of stress-strain state and the minimum orthographic wear, lengthens life CPG parts and diesel engine as a whole.

**Key words:** stress-strain state, wear, coercive force, the technical condition, the resource.

**References**

1. Grigorev M.A. Konstruktorsko-tehnologicheskoe obespechenie nadezhnosti DVS. M.A. Grigorev, V.M. Ynukidze. *Avtomobilnaia promyshlennost*. 1988.– № 8. p.p. 8-12.
2. Aulin V.V. Doslidzhennia stanu zmitsnykh poverkhnykh shariv materialiv za koertsytnoyu syloyu/ V.V. Aulin, V.M. Bobryts'kiy, V.M. Vlasovets' ta in. *Problemy trybolohii (Problems of tribology)*. Khmel'nyts'kyi. KhNU, 2006. №2 p.p. 80-87.
3. DSTU 2389-94 *Tekhnichne diahnostuvannia ta kontrol' tekhnichnoho stanu*. Terminy ta vyznachennia. K.: Derzhstandart Ukrayiny, 1994. 24 p.
4. Mishin M.D. *Magnitnye materialy*. M.D. Mishin. M.: Vyssh.shkola, 1981. 335p.
5. Livshits B.G. *Fizicheskie svoystva metallov i splavov*. B.G. Livshits, V.S. Karposhin, Ya.L. Linetskii M.: "Metallurgiya".1980.320 p.
6. Aulin V.V. *Systema trybomonitorynhu tekhnichnoho stanu dyzel'noho DVZ/V.V. Aulin, T.S. Skoblo, O.Y. Zhulay ta in. Problemy trybolohii (Problems of tribology)*. Khmel'nyts'kyi. KhNU, 2006. №2. p.p. 63-79.
7. Pat. 23040 Ukraina, MPK G01R 33/02. Sposib vymiryuvannia napruzhenosti mahnitnoho polia v lokal'nykh dilyankakh vyrobiv iz feromahnitnykh materialiv. Aulin V.V., Zhulay O.Y., Bobryts'kyi V.M., Lysenko S.V. ta in.; zayavnyk i patentostrymovach Kirovohrads'kyi natsional'nyi tekhnichnyi universytet. №u200610907; zayavl. 16.10.2006; opubl. 10.05.2007; byul.№6.
8. Khristenko I.N. *Vliyanie plasticheskoi deformatsii na koertsitivnuiu silu malouglerodistoi stali*. I.N. Khristenko, V.V. Krivova. *Defektoskopiia*. 1984. № 6. p.p.90.
9. Gorkunov E.S. *Modelirovanie diagrammy deformirovaniia na osnove izmereniia ee magnitnykh kharakteristik*. E.S. Gorkunov, V.P. Fedorov, A.B. Bukhvalov, I.N. Veselov. *Defektoskopiia*. 1997. № 4. p.p. 87-95.
10. Popov B.E. *Magnitnyi kontrol napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniia i ostatochnogo resursa pod'yemnykh sooruzhenii*. B.E. Popov, V.F. Muzhitskii, G.Y. Bezlyudko, Y.A. Levin. *Diagnostika*. 1998.– № 3. p.p. 40-44.
11. Aulin V.V. *Fizychni osnovy diahnostyky kharakteru ruynuvannia detalei*. V.V. Aulin, O.Yu. Zhulay ta in. *Visnyk Kharkivs'koho derzh. tekhn. universytetu sil'sk. gospodarstva*. Vyp. 24. *Tekhn. servis APK, tekhnika ta tekhn. u sil's'kohospodars'komu mashynobuduvanni*. Kharkiv. 2004. p.p.116-121.
12. Aulin V.V. *Vplyv napruzhenno-deformovanoho stanu tsylindrychnoi detali na ii znosostykist*. V.V. Aulin, V.O. Dubovyk, M.V. Krasota. *Zb. nauk. prats' Luhans'koho natsional'noho ahrarnoho universytetu*. Serii: *Tekhnichni nauky*. Luhans'k: Vydavnytstvo LNAU, 2006, №64(87).– p.p 26-30.
13. Alyamovskii A.A. *SolidWorks. COSMOSWorks. Inzhenernyi analiz metodom konechnykh elementov*.A.A. Alyamovskii. M.: DMK Press, 2004. 432 p.
14. Aulin V.V. *Tekhnologii tribotekhnicheskogo vosstanovleniia iznoshennykh poverkhnosti detalei s ispolzovaniem kompozitsionnogo masla i vozdeystviia fizicheskikh polei*. V.V.Aulin, S.V.Lysenko. *Problemy avtomobilno-dorozhnogo kompleksa Rossii: Ekspluatatsiia i razvitie avtomobilnogo transporta [Tekst]: materialy X mezhdunar. zaochn. nauch.-tekhn. konf. 21 noyabria 2013 g., Penza. [redkol.: E.R. Domke (otv. red.) i dr.]*. Penza: PGUAS, 2013. p.p. 7-16.