

С. В. МЯМЛІН (ДІПТ), Д. М. БАРАНОВСЬКИЙ (КНУ ім. М. Остроградського, Кременчук)

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРУ І ВЕЛИЧИНИ ЗНОСУ ТРИБОСИСТЕМ ДИЗЕЛІВ СПЕЦІАЛЬНОГО САМОХІДНОГО РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦЬ

У роботі наведено результати експериментальних досліджень характеру та величини зносу відповідальних трибосистем циліндропоршневої групи та кривошипно-шатунного механізму дизелів спеціального самохідного рухомого складу залізниць. Показано, що характер зносу гільз циліндрів та шийок колінчастого валу негативно впливають на техніко-експлуатаційні параметри і лімітують ресурс дизелів у цілому. Величина зносу пропорційна напрацюванню дизелів, але спостерігаються випадки значних відхилень значень величини та інтенсивності зносу деталей відповідальних трибосистем, які впливають на встановлений ресурс дизелів до капітального ремонту.

Ключові слова: трибосистема циліндропоршневої групи, кривошипно-шатунний механізм, знос, дизель, спеціальний самохідний рухомий склад залізниць

В работе приведены результаты экспериментальных исследований характера и величины износа ответственных трибосистем цилиндропоршневой группы и кривошипно-шатунного механизма дизелей специального самоходного подвижного состава железных дорог. Показано, что характер износа гильз цилиндров и шеек коленчатого вала негативно влияют на технико-эксплуатационные параметры и лимитируют ресурс дизелей в целом. Величина износа пропорциональна наработке дизелей, но наблюдаются случаи значительных отклонений значений величины и интенсивности износа деталей ответственных трибосистем, которые влияют на установленный ресурс дизелей до капитального ремонта.

Ключевые слова: трибосистема цилиндропоршневой группы, кривошипно-шатунный механизм, износ, дизель, специальный самоходный подвижной состав железных дорог

In the paper the results of experimental research of wear character and value of responsible tribosystem of cylinder-and-piston group and crank-and-conrod mechanism of diesels for the special self-propelled railway rolling stock are presented. It is shown that the character of wear of cylinder shells and crankpins affect negatively the technical-operating parameters and limit the resource of diesels as a whole. The wear value is proportional to operating time of diesels, but there are the cases of considerable deviations of value and intensity of wear of parts of responsible tribosystems, which affect the set resource of diesels before a major overhaul.

Keywords: tribosystem of cylinder-and-piston group, crank-and-conrod mechanism, wear, diesel, special self-propelled railway rolling stock

Вступ

Довговічність та безвідмовність дизелів пов'язані між собою та виступають невід'ємними показниками надійності. Накопичення пошкоджень у деталях та вузлах дизелів підвищує ймовірність настання відмов та знижує довговічність. При цьому, поточні відмови дизелів поступово переходять у ресурсні відмови, при яких дизелі досягають граничного стану [1 – 3].

Розгляд впливу чинників поточних та ресурсних відмов дизелів дозволяє обґрунтувати та розробити ефективні заходи та засоби, які будуть сприяти підвищенню рівня довговічності дизелів спеціального самохідного рухомого складу (ССРС) залізниць.

Основний вплив чинників на відмови дизелів здійснюють такі фізико-хімічні процеси: зноси трибосистем (ТС); старіння матеріалів

деталей та їх руйнування при різному, включаючи нестационарне, тепломеханічному навантаженні; кавітація; нагаро- та коксоутворення; а також невід'ємні конструкційні, технологічні та експлуатаційні похибки [4 – 6].

Для кожної поточної та ресурсної відмови можна встановити відповідні критерії та ознаки її прояву.

У міру зростання напрацювання деталей дизелів ССРС залізниць, безперервно відбуваються зміни їх технічного стану, пов'язані із процесами зношування, корозії, накопичення втоми, деформацій, забруднення та ін. Ці процеси мають необоротний характер: знижується або втрачається працездатність ССРС у результаті зносу деталей.

Поточні та ресурсні відмови дизелів ССРС залізниць обумовлюють їх нездатність виконувати задані функції. При цьому відбувається зупинка ССРС для ремонту і регулювання.

Дизелі мають особливе місце в сукупності відмов ССРС залізниць. Дослідження [7 – 10] надійності та довговічності агрегатів сучасного ССРС показує, що в середньому 34...47 % відмов приходить на дизель, 7...19 % – на трансмісію, 6...19 % – на ходову частину, 5...18 % – на електрообладнання, 8...19 % – на гідрообладнання, 5...15 % – на пневмосистеми, 7...24 % – на робоче (навісне) обладнання. Значний діапазон даних по відмовам пояснюється різним призначенням та областю використання ССРС залізниць.

Експлуатація дизелів ССРС залізниць в робочих умовах збільшує знос деталей в 2,0...4,9 разу в порівнянні з їх використанням в інших умовах експлуатації [1].

Реалізація технологічних операцій колійно-та енергогосподарств залізниці відбувається при роботі дизелів ССРС на режимах середнього і найбільшого навантаження – в межах від граничної потужності до найбільшого крутного моменту, що створює максимальні механічні та теплові навантаження на їх деталі [11 – 12].

Найбільш значимими факторами, що дозволяють більш повно використати запланований ресурс дизеля, при нормальній його експлуатації є неприпустимість перегрівів, своєчасна заміна масла, справність повітряних, оливних та паливних фільтрів, застосування якісних паливно-мастильних матеріалів та ін.

Головною і постійно діючою причиною зміни технічного стану дизелів є зношування його деталей. Примітною особливістю його деталей при експлуатації є одночасна дія різних видів зношування, співвідношення яких залежать від конструкції дизеля, технології виготовлення деталей, якості вживаних експлуатаційних матеріалів, зовнішніх умов [13 – 17].

На довговічність дизелів основний вплив здійснює зносостійкість їх відповідальних ТС, якими виступають ТС циліндропоршневої групи (ЦПГ) та кривошипно-шатунного механізму (КШМ) [1 – 3, 8].

Аналіз попередніх досліджень

Розглядаючи процес зношування основних деталей дизеля, у першу чергу варто звернути увагу на режим тертя: гідродинамічний, граничний і т.д., оскільки деталі дизеля по різному зношуються при різних режимах тертя.

У процесах тертя, мащення і зношування беруть участь поверхневі шари деталей і масляна плівка різної товщини. Властивості масла й активних поверхневих шарів металу безперервно змінюються [6]. На межі поділу метал-

масло відбуваються складні фізико-хімічні процеси, що впливають на утворення структури поверхневих шарів деталей і їх довговічність.

Розглядаючи роботу деталей ЦПГ, слід зазначити, що ТС «гільза циліндра – компресійне кільце» знаходиться в умовах граничного тертя. У цьому випадку під впливом високої температури, недостатності мащення, підвищеного навантаження і зворотно-поступального руху гідродинамічна масляна плівка стає тонше 2 мкм і закономірності рідинного мащення порушуються. Коефіцієнт тертя в таких умовах залежить не від в'язкості масла, а від наявності в ньому полярно-активних компонентів [10]. Одночасно змінюються властивості поверхонь твердих тіл, що можуть пластифікуватися, окрихчуватися, набувати квазірідкого стану.

Мастильна дія граничних шарів визначається здатністю забезпечувати ковзання, зниження сил молекулярної адгезії і пластифікацію поверхонь. Можуть утворюватися також плівки фізичної адсорбції і хемосорбції [11].

З підвищенням температури хімічні плівки стають товщими і руйнуються тільки при досягненні точки плавлення. Усі плівки здатні до саморегенерації, якщо зберігаються зовнішні умови тертя.

Товщина і міцність граничних плівок залежить від хімічного складу масла і присадок до нього, властивостей поверхні тертя і зовнішніх умов тертя. Щодо товщини граничних шарів єдиної думки не існує. За деякими даними [6, 8 – 10] вона складає від частки мікрометра до декількох його десятків.

Подальший розвиток теорія зносу тонких поверхневих шарів в умовах граничного тертя знайшла у роботах вчених Запорожця В. В., Дмитриченка М. Ф., Райка М. В., Мнацаканова Р. Г. та ін. У роботах [4 – 12] показано, що структурно-енергетичні особливості поверхні визначаються акумулюванням у поверхневих шарах структурних мікростворень з випереджачим, у порівнянні з об'ємним темпом, інтенсивним протіканням комплексу структурних і фазових перетворень відповідно до умов зовнішнього навантаження. Складність керування поверхневою, а в зв'язку з цим і об'ємною міцністю, полягає й у тому, що поверхневі шари, як правило, метастабільні і більш легко, ніж глибинні, переходять у нові структурні стани.

Фрактографічні дослідження [7] показали, що взаємодію поверхонь тіл при граничному терті можна розглядати як взаємодію випадкових коливальних механічних полів. Це приводить до середньо- і високошвидкісного імпуль-

сного пружного і непружного деформування локальних мікрооб'ємів. Зазначимо, що незважаючи на велику гомогенність орієнтовної пластичної деформації тонкого поверхневого шару, його руйнування відбувається негетогенно. Як правило, руйнування так званих вторинних структур (ВС) [5], що утворюються з вихідного матеріалу шляхом його структурної перебудови і взаємодії із середовищем, починається і розвивається на ділянках матричного матеріалу з розвинутими недосконалотями і мікроспотвореннями, які є концентраторами напружень. Характерним є й те, що процес руйнування і відновлення ВС при терті відбувається періодично. При цьому найбільш тривалою є перша стадія – утворення сітки мікротріщин. Наступні стадії – розвиток мікротріщин, початок відшарування і «скидання» ВС з оголенням матричного матеріалу відбуваються з наростаючим темпом. Це пов'язано з інтенсивною активізацією підповерхневих шарів, на яких починається формуватися нова плівка ВС.

Автор роботи [9] досліджував процеси зносу в умовах несталих режимів тертя, важливих, особливо, для вивчення процесу зносу деталей ЦПГ, що працюють в умовах зворотно-поступального руху, при змінних режимах роботи дизеля й в змінних умовах тертя вздовж твірної гільзи циліндра. Ним виявлено, що під час зрушення з місця відбувається розрив масляної плівки ($t = 0,1$ с) й наявний металевий контакт поверхонь ($t \approx 0,035$ с). Спостерігається різке збільшення інтенсивності зношування в період якісного збігу характеру змін мікротвердості. Виявлено, що хром у мастильному середовищі служить катализатором створення захисних плівок. Встановлено, також взаємозв'язок між підвищенням мікротвердості поверхневого шару металу і наявністю хімічних сполук, що утворюються під час тертя.

Статистичні дослідження та досвід експлуатації дизелів ССРС залізниць в умовах роботи на ст. Знамянка Одеської залізниці дав можливість провести розподіл відмов їх систем та елементів (рис. 1).

Як видно з діаграм, для всіх періодів роботи дизелів, їх надійність та довговічність суттєво залежить від технічних характеристик та кількості відмов циліндропоршневої групи (ЦПГ) та кривошипно-шатунного механізму (КШМ).

Деталі ЦПГ відносяться до найбільш навантажених і відповідальних деталей дизелів. Ресурс дизелів, у першу чергу, визначається надійною і довговічною роботою його основних трибосистем (ТС): «гільза циліндра – кільце» та

«вкладиш – колінчастий вал». Ці деталі знаходяться в найбільш важких умовах експлуатації і є найменш довговічними з його основних деталей. На процес зношування гільз циліндрів, поршнів, поршневих кілець, вкладишів та колінчастого валу впливає велика кількість факторів, що залежать від типу дизеля, його конструктивних особливостей, рівня форсування, застосовуваних палива й масла, підготовки обслуговуючого персоналу, кліматичної зони експлуатації та багатьох інших факторів.

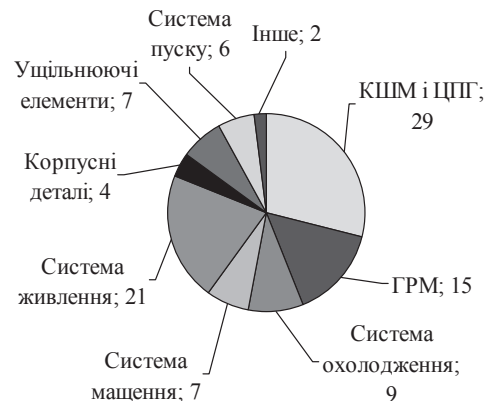


Рис. 1. Розподіл відмов систем дизелів ССРС залізниць у відсотках при експлуатації

Згідно зібраних статистичних даних, встановлено, що кількість відмов у 25...40 випадках зі 100 вибракувань гільз циліндрів дизелів відбувається через тріщини в галтелях під посадочним буртом і ресурсний знос внутрішньої поверхні, так званого «дзеркала».

Це пов'язано із цілим рядом обставин: форсуванням дизелів; відсталою технологією виготовлення і ремонту окремих деталей, зборки вузлів і дизеля в цілому; підсиленням умов експлуатації; погіршенням якості палива і масла; відсутністю високоефективних присадок до охолоджуючої рідини; низькою корозійною і кавітаційно-ерозійною стійкістю матеріалів, що використовуються; відсутністю ясності в питаннях про механізми руйнування матеріалів і покриттів.

З літературних джерел відомо, що визначення ресурсу дизелів є складним процесом. Однак, відповідальними ТС дизелів ССРС залізниць для прогнозування та визначення їх ресурсу можна вважати ТС ЦПГ та КШМ. Таке твердження справедливе, оскільки більш як 85 % ресурсних відмов припадає саме на ці системи.

Метою роботи є дослідження характеру і величини зносу ТС ЦПГ та КШМ дизелів ССРС залізниць.

Результати досліджень

На протязі 2005-2009 рр. були проведені математико-статистичні дослідження величин

зносу деталей відповідальних ТС дизелів ССРС, які показали наступні результати (рис. 2).

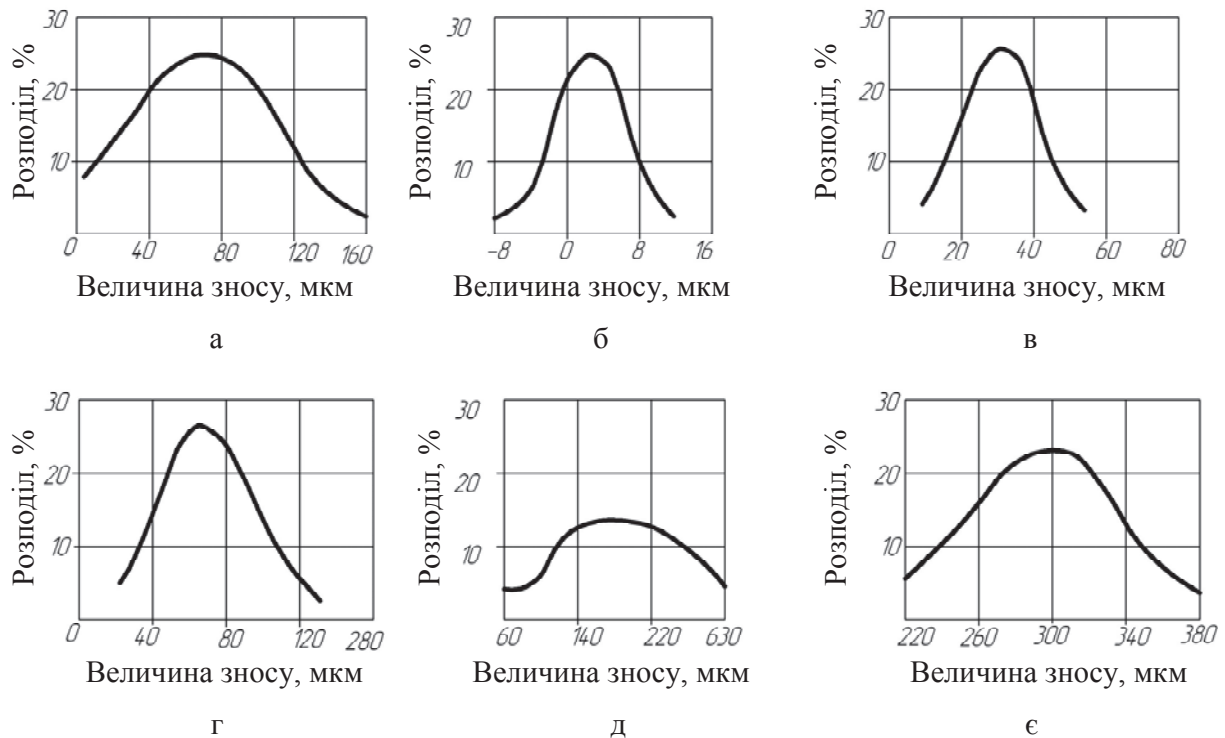


Рис. 2. Розподіл величин зносу деталей відповідальних ТС дизелів ССРС залізниць:
а – гільз цилиндрів; б – маслоснімних кілець; в – корінних шийок колінчастого валу; г – шатунних шийок колінчастого валу; д – другого компресійного кільця; е – першого компресійного кільця

Дотепер немає єдиної думки серед дослідників про природу зношування гільз цилиндрів дизелів. Багато авторів схильні до того, що гільза цилиндра одночасно піддається молекулярно-механічному, корозійно-механічному й абразивному видам зношування. Як зазначає автор роботи, процес молекулярно-механічного зношування відбувається у верхній частині гільзи цилиндра, де внаслідок недостатнього змащування, малої швидкості поршня, високих температур і тисків порушується безперервність масляної плівки, і в окремих точках виникає схоплювання поверхонь ТС. З іншого боку, високі температури поверхні гільзи цилиндрів, розрив масляної плівки і теплове випромінювання процесу згоряння палива сприяє інтенсивному утворенню окисних і лакових плівок. Наявність цих плівок на поверхні тертя перешкоджає появі ювенільних поверхонь і тим самим усуває ймовірність схоплювання поверхонь ТС.

Максимальний знос має місце у верхній частині гільзи цилиндрів, сильно зношується верхнє компресійне кільце і канавка під нього в поршні.

Закономірності зносу гільз цилиндрів дизелів вивчені недостатньо, немає єдиного погляду про вплив теплових, кінематичних та індикаторних показників роботи дизеля на знос гільз цилиндрів.

Майже всі дослідники стверджують, що гільза цилиндрів є однією з напружених і відповідальних деталей дизеля, яка лімітує його напруження до КР.

В процесі експлуатації гільза зношується нерівномірно по довжині твірної, аналогічно зношуються шийки колінчастих валів. Дослідження величини середнього зносу компресійних кілець та гільз цилиндрів, вкладишів та шийок колінчастих валів дизелів, що експлуатувалися на автомотрисах та дрезинах були проведені на ст. Знамянка Одеської залізниці на протязі 2005-2009 рр., які підтвердили, що КР виконують за технічним станом останніх.

Також були проведені дослідження зносів гільз цилиндрів дизелів сімейства ЯМЗ, що встановлені на ССРС залізниць різних господарств, які надали можливість встановити середню величину та інтенсивність зносу в залежності від напруження (табл. 1).

У дизелях серії ЯМЗ, що мають великий граничний знос, відбувається значна зміна макрогеометрії гільзи циліндрів в процесі експлуатації. Велика різниця в діаметрі гільзи циліндрів по своїй висоті негативно впливає на показники роботи дизеля. Зазор у замку 1-го компресійного кільця може становити декілька міліметрів. Кільце тисне на стінку гільзи циліндра нерівномірно по колу. Поблизу замка тиск кільця на стінку гільзи циліндра може бути від-

сутнім. При цьому витрати палива збільшується на 11...15 %, а витрата масла у 2,0...2,5 рази.

У момент знаходження поршня у ВМТ поршневі кільця (як верхнє, так й інші) перебувають в зоні максимального зносу і займають граничне положення, за якого зазор у замку найбільший. Епюри зносу гільз циліндрів дизелів ССРС залізниць у місці зупинки першого компресійного кільця наведено на рис. 3.

Таблиця 1

Середні величина та інтенсивність зносу гільз циліндрів дизелів ССРС

Марка дизелів	ССРС	Напрацювання, мото-год			
		1600	3200	4800	6400
ЯМЗ-236	ВІР	$\frac{0,13^*}{1,15}$	$\frac{0,29}{1,16}$	$\frac{0,44}{1,15}$	$\frac{0,72}{1,15}$
	ДГКу	$\frac{0,10}{1,11}$	$\frac{0,26}{1,12}$	$\frac{0,39}{1,11}$	$\frac{0,64}{1,12}$
ЯМЗ-238Б	АДМ	$\frac{0,05}{1,02}$	$\frac{0,12}{1,02}$	$\frac{0,18}{1,03}$	$\frac{0,28}{1,03}$
	ДГКу	$\frac{0,08}{1,07}$	$\frac{0,14}{1,09}$	$\frac{0,19}{1,08}$	$\frac{0,35}{1,09}$
ЯМЗ-238М	МІТ	$\frac{0,09}{1,08}$	$\frac{0,18}{1,09}$	$\frac{0,25}{1,10}$	$\frac{0,39}{1,09}$
	АДМ	$\frac{0,08}{1,08}$	$\frac{0,16}{1,09}$	$\frac{0,21}{1,10}$	$\frac{0,33}{1,09}$

* у чисельнику – величина зносу, мм; у знаменнику – інтенсивність зносу, мкм/1000 км.

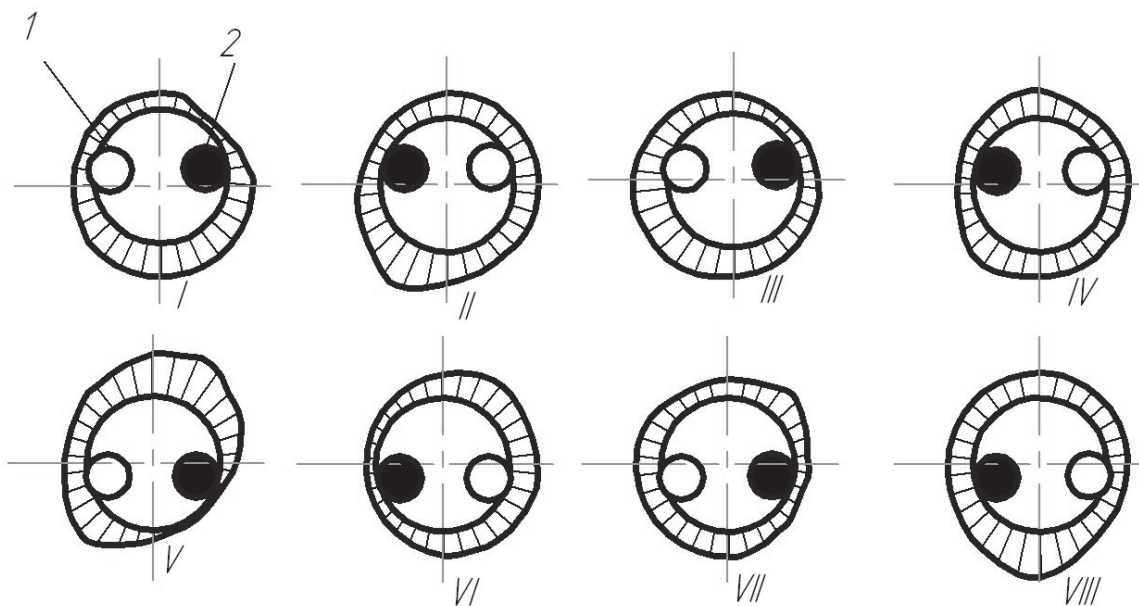


Рис. 3. Радіальний знос стінок гільз циліндрів дизелів ЯМЗ-238, що встановлені на ДГКу в місці зупинки першого компресійного кільця: I-VIII – номери циліндрів; 1, 2 – розташування випускних та впускних клапанів

Під час руху поршня вниз поршневе кільце переміщується в зону гільзи з меншим зносом і має радіальне переміщення зі швидкістю v .

Зменшення діаметра гільзи циліндра і кривизни зовнішньої поверхні кільця викликає зменшення зазору в замку.

Тертя, що виникає між кільцем і поршнем, внаслідок тиску газів, перешкоджає коловому та радіальному рухам кільця в поршневій канавці і викликає додаткове притиснення його до гільзи, що інтенсифікує її знос та знос канавок під кільця в поршні.

Нерівномірний знос гільзи призводить до того, що робоча поверхня у верхній зоні має конічну форму і поршневе кільце або контактує тільки гранню, або перекошується і розбиває поршкову канавку. Контактуювання гранню при

лінійному контакті деталей викликає високий питомий тиск у зоні тертя, що обумовлює заїдання і схоплювання деталей.

Нерівномірний знос гільзи циліндра та шийок колінчастих валів (рис. 4, 5) викликає підвищене зношування всіх деталей ЦПГ та КШМ і різке зменшення надійності та довговічності їхньої роботи. Усунення такого характеру зносу значно покращить умови роботи деталей і підвищить надійність та довговічність дизелів ССРС у цілому.

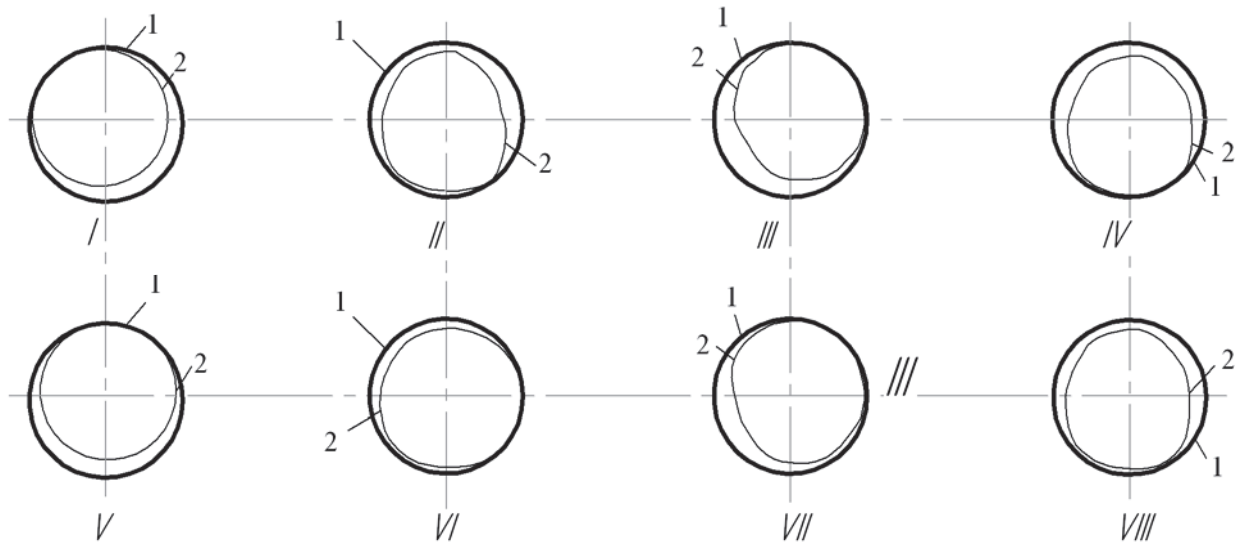


Рис. 4. Характер зносу шатунних шийок колінчастих валів дизелів ЯМЗ-238 ССРС енергогосподарств залізниць:
1 – початковий контур; 2 – при середньому напрацюванні 8400 мото-год

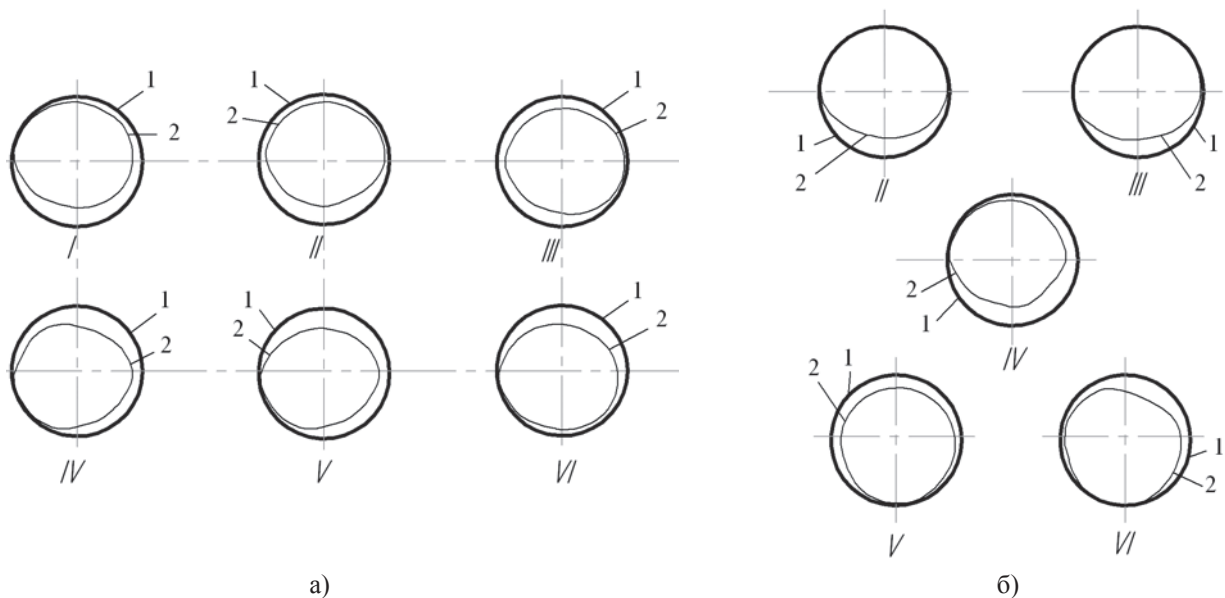


Рис. 5. Характер зносу шатунних (а) та корінних (б) шийок колінчастих валів дизелів ЯМЗ-236 ССРС енергогосподарств залізниць:
1 – початковий контур; 2 – при середньому напрацюванні 6400 мото-год

Серед факторів, що суттєво впливають на знос ТС «гільза циліндра – компресійне кільце» та «вкладиш – шийка колінчастого валу», мож-

на виділити три основні: тиск, швидкість руху і температура в кожній точці поверхні тертя. Ці фактори змінні вдовж твірної циліндра та ший-

ки валу і здійснюють відповідний вплив на їх знос. Крім того, на довговічність дизелів впливає правильна організація процесів мащення і підбір оптимального сорту масла. Сучасні масла складні за вмістом: до 30 % містять різні присадки, що забезпечують поліпшення протизносних, протизадирних, протипінних, протикорозійних, протіокислювальних та інших властивостей.

Висновки

Проведені експериментальні дослідження характеру та величини зносу відповідальних ТС ЦПГ та КШМ дизелів на діючому ССРС залізниць вказують на наступне. Характер зносу гільз циліндрів та шийок колінчастого валу негативно впливають на техніко-експлуатаційні параметри і лімітують ресурс дизелів у цілому. Величина зносу пропорційна напрацюванню дизелів, але спостерігаються випадки значних відхилень значень величини та інтенсивності зносу деталей відповідальних ТС, які впливають на встановлений ресурс дизелів до КР.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Барановський, Д. М. Проблема довговічності дизелів засобів транспорту [Текст] / Д. М. Барановський // Вісник Кременчуцького держ. політехн. ун-ту ім. М. Остроградського. – 2009. – Вип. 5/2009 (58). – Ч. 1. – С. 96-99.
2. Барановський, Д. М. Загальний підхід до оцінки та прогнозування ресурсу дизелів засобів транспорту [Текст] / Д. М. Барановський // Восточно-європейський журнал передових технологій. – 2009. – № 4/10 (40). – С. 49-52.
3. Анілович, В. Я. Надійність машин в завданнях та прикладах [Текст] : навч. посібник / В. Я. Анілович, А. С. Грінченко, В. Л. Литвиненко; за ред. В. Я. Аніловича. – Х.: Око, 2001. – 320 с.
4. Биргер, И. А. Техническая диагностика [Текст] / И. А. Биргер. – М.: Машиностроение, 1978. – 240 с.
5. Болотин, В. В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций [Текст] / В. В. Болотин. – М.: Машиностроение, 1984. – 312 с.
6. Болотин, В. В. Ресурс машин и конструкций [Текст] / В. В. Болотин. – М.: Машиностроение, 1980. – 448 с.

7. Большаков, В. В. Конструкция элементов ЦПГ и расход масла на угар [Текст] / В. В. Большаков, М. А. Григорьев, С. Н. Фёдоров // Автомобильная промышленность. – 1999. – № 12. – С. 16-20.
8. Вентцель, С. В. Применение смазочных масел в ДВС [Текст] / С. В. Вентцель, Е. С. Вентцель. – М.: Химия, 1979. – 238 с.
9. Гаркунов, Д. Н. Долговечность трущихся деталей машин [Текст] / Д. Н. Гаркунов. – М., 1987. – 424 с.
10. Жулай, О. Ю. Технічний стан матеріалу гільз циліндрів ЗТ [Текст] / О. Ю. Жулай, Д. М. Барановський // Східноєвропейський журнал передових технологій. – 2009. – № 3/8 (39). – С. 31-34.
11. Канарчук, В. Е. Долговечность и износ двигателей при динамических режимах работы [Текст] / В. Е. Канарчук. – К.: Наук. думка, 1978. – 256 с.
12. Асташкевич, Б. М. Исследование изнашивания цилиндровых втулок и поршневых колец тепловозных дизелей [Текст] / Б. М. Асташкевич // Вестник ВНИИЖТ. – 1974. – № 3. – С. 32-37.
13. Волошкин, Н. П. Капитальный ремонт быстроходных дизелей [Текст] / Н. П. Волошкин, В. Я. Попов, И. Б. Тартаковский. – М.: Машиностроение, 1971. – 479 с.
14. Гурвич, И. Б. Износ и долговечность двигателей [Текст] / И. Б. Гурвич. – Горький: Волговятское изд-во, 1970. – 176 с.
15. Иванов, В. П. Повышение надежности и срока службы цилиндровых гильз тепловозных дизелей типа Д100 [Текст] / В. П. Иванов, В. С. Антропов, Н. М. Савин // Повышение надежности тепловозов. Тр. ЦНИИ МПС. – Вып. 504. – М.: Транспорт, 1973. – С. 22-37.
16. Иващенко, Н. И. Влияние износа деталей цилиндропоршневой группы на внешние характеристики автотракторных двигателей [Текст] / Н. И. Иващенко, И. М. Гульченко // Проблемы трения и изнашивания. – Вып. 6. – К.: Техника, 1974. – С. 35-40.
17. Почтенный, Е. К. Прогнозирование долговечности и диагностика усталости деталей машин [Текст] / Е. К. Почтенный. – Мн.: Наука и техника, 1983. – 246 с.

Надійшла до редколегії 15.12.2010.

Прийнята до друку 20.12.2010.