

УДК 672.1.004.12

О.М. Леоненко<sup>1</sup>, Б.В. Савченков<sup>2</sup><sup>1</sup>Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків<sup>2</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків

## ВПЛИВ ТЕРМОМЕХАНІЧНОГО ЗМІЦНЕННЯ ГІЛЬЗ ЦИЛІНДРІВ НА РЕСУРС РОБОТИ ДВИГУНА КАМАЗ-740

У статті розглянуте питання зміни ресурсу роботи автомобільного двигуна КамАЗ-740 при використанні в ньому гільз циліндрів зі спеціального легованого чавуну, підданих термомеханічному зміцненню. У порівнянні з існуючими на сьогоднішній день даними про використання гільз циліндрів з того ж матеріалу, загартованих СВЧ, результати розрахунків дозволяють прогнозувати збільшення цього показника на 15 – 20 % вище значень, що вимагаються державними стандартами.

**Ключові слова:** двигун, гільзи циліндрів, спеціальний легований чавун, поверхневий шар, термомеханічне зміцнення, загартування СВЧ, ресурс, капітальний ремонт.

### Вступ

Діючий ГОСТ 23465-79 „Дизели автомобільные. Общие технические условия” [1] на сьогоднішній день для автомобільних двигунів КамАЗ-740 загального призначення визначає норму напрацювання до капітального ремонту не менше 350 тис. км. Однак цей показник для даного типу двигунів, якими, крім автомобілів різного призначення в народному господарстві країни, у тому числі оснащена значна частина засобів аеродромно-технічного забезпечення польотів авіації, становить, згідно різних джерел, 250 – 280 тис. км, тобто на 20 – 30 % нижче норми. Слід також прийняти до уваги, що до 75 % списочного складу автомобільної техніки країни перебуває в експлуатації з використаним ресурсом.

Оскільки ремонтно-відновлювальні операції мають на меті, крім відновлення порушених у процесі експлуатації параметрів, стримування руйнівних процесів, які закономірно протікають в автомобілі і його елементах [2], то керування надійністю автомобілів, їхніх вузлів і агрегатів є однією з основних проблем у системі технічного обслуговування й ремонту автомобільного парку.

Прогнозування є невід’ємною і необхідною складовою даного процесу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Прогнозування вважається своєрідним індикатором „безпечного руйнування” (зниження запасу безвідмовності, довговічності), який виявляє граничний стан вузла, агрегату та запобігає виникненню фактичної відмови [3 – 6 і ін.]. Автор роботи [5] показує, що застосування прогнозування залишкового ресурсу агрегатів можна розглядати як цілеспрямований процес, що дозволяє виявляти граничний стан агрегатів і забезпечувати своєчасне прийняття рішень або видачу відповідних керуючих впливів до виникнення фактичної відмови. Це дає можливість підвищити технічну готовність автомобільного парку шляхом заміни вчасно виявлених вузлів, агрегатів,

які мають граничний стан, у міжзмінний час. Крім того, прогнозування знижує витрати на технічне обслуговування й ремонт агрегатів автомобілів, особливо при переході до системи обслуговування автомобілів за фактичним технічним станом.

Весь досвід експлуатації, діагностики й ремонту двигунів показує, що основним джерелом різноманітних ушкоджень і порушень нормального функціонування його механізмів і систем є процеси поступової зміни параметрів основних сполучень, по величині зношування яких визначається технічний стан двигуна й необхідність його ремонту.

Для двигуна одним з таких сполучень є „циліндр – кільце-поршень”. Якщо прийняти зношування всіх сполучень двигуна за 100 %, то на зношування деталей циліндропоршневої групи й кривошипно-шатунного механізму доводиться 70 – 80 %, а на інші сполучення 20 – 30 %. Зношування окремих деталей циліндропоршневої групи двигунів становить: гільзи циліндрів 47 – 52 %, поршневі кільця 40 – 46 %, поршневі пальці 0,8 – 2,5 % [3 – 5]. Тому в процесі експлуатації дуже важливо знати ресурс деталей циліндропоршневої групи, які в значній мірі визначають ресурс роботи двигуна до капітального ремонту.

Таким чином, прогнозування ресурсу агрегату, вузла зводиться до прогнозування ресурсу основних сполучень (деталей), які можна розглядати як індикатори відмови.

**Мета й постановка задачі.** В дійсний час в якості промислової зміцнюючої обробки для гільз циліндрів двигунів КамАЗ-740, які виготовляються зі спеціального легованого чавуну, застосовується загартування струмами високої частоти (СВЧ).

У роботах [7 – 9], метою яких було підвищення якості гільз циліндрів термомеханічним зміцненням для вдосконалення технології ремонту автомобільних двигунів КамАЗ-740, був виконаний аналіз зміни механічних властивостей (твердості й пластичності) і напруженого стану поверхневого шару ма-

теріалу після зміцнення, оцінений вплив оптимальних технологічних параметрів термомеханічної обробки й механічних властивостей зміцненої робочої поверхні на ремонтпридатність гільз циліндрів. Задачею даної роботи є прогнозування зміни ресурсу двигуна КамАЗ-740 внаслідок зміни комплексу механічних властивостей і зносостійкості матеріалу гільз циліндрів після термомеханічного зміцнення.

### Результати дослідження

Від терміну служби й стану гільз циліндрів у значній мірі залежать довговічність автомобільного двигуна, стабільність його робочих характеристик і економічність при експлуатації. Для цих деталей важливими показниками, які визначають їхні експлуатаційні властивості, є рівень технології виробництва, механічні характеристики й стан робочих поверхонь деталі, а також їхня ремонтпридатність. Внаслідок підвищення даних показників є можливість в певній мірі збільшити ресурс як самої деталі, так і двигуна в цілому.

Ресурс двигуна до моменту відправки його в капітальний ремонт за станом деталей циліндропоршневої групи визначається по рівнянню [5]

$$L_{\text{КР}} = \frac{F_{\text{доп}}^{\text{ЦПГ}} \times V_a}{60 \times I},$$

де  $F_{\text{доп}}^{\text{ЦПГ}}$  – сумарне припустиме зношування сполучення двигуна, мг;

$V_a$  – швидкість автомобіля, км/год.;

$I$  – швидкість зношування, мг/хв.

Сумарне припустиме зношування сполучення двигуна можна визначити розрахунковим шляхом по формулі

$$F_{\text{доп}}^{\text{ЦПГ}} = 0,523 \cdot S_n \cdot D_{\text{ц}} \cdot X_{\text{ц}} \cdot \rho \cdot \delta_{\text{макс}}^{\text{ср}},$$

де  $S_n$  – хід поршня, мм;

$D_{\text{ц}}$  – діаметр циліндра, мм;

$X_{\text{ц}}$  – кількість циліндрів двигуна;

$\rho$  – щільність металу, г/мм<sup>3</sup>;

$\delta_{\text{макс}}^{\text{ср}}$  – припустиме зношування циліндрів двигуна, мм.

При нормальній експлуатації двигуна головним фактором, що визначає протікання процесу зношування деталей циліндропоршневої групи двигуна, є навантажувально-швидкісний режим (середній ефективний тиск  $P_e$  (МПа) і швидкість обертання колінчатого вала  $n$  (хв<sup>-1</sup>)). Він зумовлює ступінь і градієнт пружно-пластичної деформації, температуру на поверхні тертя, ступінь активізації металу, ряд похідних явищ і, у підсумку, визначає вид переважного процесу зношування. При сталому навантажувально-швидкісному режимі зношування деталей збільшується порівняно з оптимальними умовами роботи. Так, при збільшенні навантаження на двигун у три рази ресурс деталей даної групи скорочується в середньому в 1,7 рази, а двигуна в цілому – в 1,9 рази.

Таким чином, рівняння швидкості зношування сполучення двигуна представляється як [5]

$$I_{\text{ДВС}} = a_1 \left\{ P_e (1 + 0,012 \cdot P_e) + \left[ \frac{0,66 \cdot n}{(1 - 10^{-4} \cdot n)} \right]^2 \cdot 10^{-3} \right\}.$$

Коефіцієнт  $a_1$  є коефіцієнтом коректування інтенсивності зношування сполучення, що враховує індивідуальні особливості двигуна при визначенні залишкового ресурсу сполучення й визначається наступним емпіричним рівнянням

$$a_1 = \frac{c \times \sqrt[3]{V_h}}{L_{\text{КР}}^{\text{н}}},$$

де  $c$  – коефіцієнт, що характеризує якість зборки, виготовлення, змащення й т.п. сполучення двигуна;

$V_h$  – об'єм циліндрів двигуна, л;

$L_{\text{КР}}^{\text{н}}$  – нормативне значення пробігу двигуна до капітального ремонту, км.

При проведенні розрахунків по вищевказаних формулах, результати яких наведені в таблиці, були використані наступні теоретичні положення й припущення.

Конструктивні розміри деталей (діаметр гільз, хід поршня й т.д.) циліндропоршневої групи, звісна річ, залишаються незмінними. Швидкість автомобіля, середній ефективний тиск, швидкість обертання колінчатого вала, нормативне значення пробігу двигуна до капітального ремонту були прийняті однаковими як для рівноцінних умов досліджень.

Припустиме зношування гільзи за час її експлуатації до першого капітального ремонту двигуна КамАЗ-740 і в міжремонтні періоди для обох способів зміцнення  $\delta_{\text{макс}}^{\text{ср}} = 0,35 - 0,40$  мм.

Сумарне припустиме зношування гільз циліндрів для двигунів КамАЗ-740 у дійсний час становить  $F_{\text{доп}}^{\text{ЦПГ}} = 150000$  мг [5]. Таке ж значення даної величини приймається й для гільз циліндрів після термомеханічного зміцнення.

Коефіцієнт  $c$  служить показником рівня якості конструкції, технології виготовлення деталей двигуна і його експлуатації.

Для двигунів автомобілів сімейства КамАЗ коефіцієнт  $c = 12,8 \cdot 10^{-3}$  [5]. Зі збільшенням значення  $L_{\text{КР}}^{\text{н}}$  спостерігається зниження цього коефіцієнта. Це пов'язано з покращенням якості матеріалів, змащування, зборки і т.п. Це положення, а також результати досліджень зміни механічних властивостей та зносостійкості матеріалу [7 – 9] дозволяють прийняти значення коефіцієнта  $c$  на 18 % нижче, ніж для промислових гільз, загартованих СВЧ, тобто  $c = 10,5 \cdot 10^{-3}$ .

В результаті останнього допущення швидкість зношування сполучення  $I_{\text{ДВС}}$  при рівному навантажувально-швидкісному режимі роботи двигуна знизиться також до 18 %.

Результати розрахунку прогнозування ресурсу двигуна КамАЗ-740

Найменування параметра	Умовне позначення	Значення параметра	
		Існуюче	Прогнозуєме
Припустиме зношування гільзи за час експлуатації, мм	$\delta_{\max}^{\text{сп}}$	0,35 – 0,40	0,35 – 0,40
Сумарне припустиме зношування гільзи за час експлуатації, мг	$F_{\text{доп}}^{\text{ЦПГ}}$	150000	150000
Коефіцієнт якості збірки, виготовлення й т.п.	$c$	$12,8 \cdot 10^{-3}$	$10,5 \cdot 10^{-3}$
Коефіцієнт коректування інтенсивності зношування сполучення	$a_1$	$0,081 \cdot 10^{-3}$	$0,066 \cdot 10^{-3}$
Швидкість зношування сполучення двигуна, мг/хв.	$I_{\text{ДВС}}$	$0,436 \cdot 10^{-3}$	$0,355 \cdot 10^{-3}$
Середній ресурс двигуна до капітального ремонту, км	$L_{\text{кр}}$	350000	422500

## Висновки

Виконані розрахунки дають підстави прогнозувати, що термомеханічне зміцнення матеріалу гільзи циліндра (порівняно із промисловим зміцненням загартуванням СВЧ) і застосування для відновлення гільз циліндрів способу ремонтних розмірів, дозволять збільшити середній ресурс двигуна КамАЗ-740 до першого капітального ремонту й у міжремонтні періоди до 400 тис. км (тобто на 15 – 20 % вище значень ГОСТ 23465-79), і, таким чином, виконати відповідні вимоги нормативних документів.

## Список літератури

- ГОСТ 23465-79. Дизели автомобильные. Общии технические условия. – Введ. 01.01.80. – М.: Изд-во стандартов, 1979. – 6 с.
- Справочник технолога авторемонтного производства / Под ред. Г.А. Мальшева. – М.: Транспорт, 1977. – 432 с.
- Григорьев М.А. Конструкторско-технологическое обеспечение надёжности ДВС / М.А. Григорьев, Б.М. Енукидзе // Автомобильная промышленность. – 1988. – № 8. – С. 9-12.
- Аристов А.И. Ремонтпригодность машин / А.И. Аристов, П.Н. Волков, Л.Г. Зубицкий, Б.И. Есин и др.; Под ред. П.Н. Волкова. – М.: Машиностроение, 1975. – 368 с.

5. Бажинов А.В. Прогнозирование остаточного ресурса автомобильного двигателя. – Х.: изд-во ХГАДТУ, 2001. – 95 с.

6. Железко Б.Е. Расчёт и конструирование автомобильных и тракторных двигателей / Б.Е. Железко, В.М. Адамов, И.К. Русецкий и др. – Минск: Высшая шк., 1987. – 247 с.

7. Леоненко А.Н. Изменение износостойкости деталей из чугуна после упрочнения высокотемпературной термомеханической обработкой // Вестник НТУ“ХПИ”. – Х.: Изд-во НТУ“ХПИ”, 2004. – № 24. – С. 41-48.

8. Леоненко А.Н. Исследование напряжённого состояния поверхностного слоя материала гильзы цилиндра двигателя после упрочнения ВТМО / А.Н. Леоненко, В.В. Белозеров, Б.В. Савченков // Вестник ХНАДУ. Сб. науч. тр. – Х.: Изд-во ХНАДУ, 2005. – Вып. 28. – С. 29-31.

9. Леоненко А.Н. Улучшение ремонтпригодности гильз цилиндров двигателей ЯМЗ-236 (-238) повышением качества рабочей поверхности / А.Н. Леоненко, Б.В. Савченков // Автомобиле- і тракторобудування: Зб. наук. пр. – Х.: НТУ „ХПИ”, 2006. – Вып. 6. – С. 130-135.

Надійшла до редколегії 12.11.2008

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. О.С. Полянський, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків.

## ВЛИЯНИЕ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОГО УПРОЧНЕНИЯ ГИЛЬЗ ЦИЛИНДРОВ НА РЕСУРС РАБОТЫ ДВИГАТЕЛЯ КАМАЗ-740

А.Н. Леоненко, Б.В. Савченков

В статье рассмотрен вопрос изменения ресурса работы автомобильного двигателя КамАЗ-740 при использовании в нем гильз цилиндров из специального легированного чугуна, подвергнутых термомеханическому упрочнению. По сравнению с существующими на сегодняшний день данными при использовании гильз цилиндров из того же материала, закаленных ТВЧ, результаты расчетов позволяют прогнозировать увеличение этого показателя на 15 – 20 % выше значений, требуемых государственными стандартами.

**Ключевые слова:** двигатель, гильзы цилиндров, специальный легированный чугун, поверхностный слой, термомеханическое упрочнение, закалка ТВЧ, ресурс, капитальный ремонт.

## INFLUENCE OF THERMOMECHANICAL STRENGTHENING OF CYLINDERS OF ENGINE KAMAZ-740 RESOURCE

A.N. Leonenko, B.V. Savchenkov

In article considered the question about the change of engine KamAZ-740 resources by the use of cylinders made of special alloyed cast-iron after using thermomechanical strengthening have been presented in the engine. The calculation results allow forecasting the increase of this exponent on 15 – 20 % more by value, which State standards need and by comparison with facts of the use of cylinders made of same material after using strengthen of high-frequency current, which exist on the present day.

**Keywords:** engine, cylinders, special alloyed cast-iron, surface layer, thermomechanical strengthening, strengthening of high-frequency current, resources, capital repair.