

С. В. Нємий, О. Й. Коцюмбас

Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра експлуатації та ремонту автомобільної техніки

## ВПЛИВ РЕМОНТНИХ ЗМІН ДІАМЕТРІВ ЦИЛІНДРІВ АВТОМОБІЛЬНИХ ДВИГУНІВ НА ЇХ ХАРАКТЕРИСТИКИ

© Нємий С. В., Коцюмбас О. Й., 2016

Розглянуто деякі особливості впливу результатів ремонтних дій на гільзи циліндрів на основі зміни характеристик двигунів. Проведено аналіз впливу ремонтних змін діаметрів циліндрів на енергетичні характеристики двигунів. Обґрунтовано теоретичні залежності для розрахунку зовнішніх швидкісних характеристик двигунів із ремонтними розмірами циліндрів. Доведено, що збільшення діаметрів циліндрів до ремонтних розмірів призводить до збільшення потужності і крутного моменту двигуна.

**Ключові слова:** ремонт двигуна, ступінь стиску, температурний стан двигуна, потужність двигуна, коефіцієнт наповнення циліндра, коефіцієнт залишкових газів.

Some features of influence of results of the repair operating are considered on the shells of cylinders in the aspect of change of descriptions of engines. The analysis of influence of repair changes of diameters of cylinders is conducted on power descriptions of engines. Grounded theoretical dependences for the calculation of external speed descriptions of engines with the repair sizes of cylinders. It is well-proven that the increase of diameters of cylinders to the repair sizes results in increasing power and twisting moment of engine.

**Key words:** repair of engine, degree of compression, temperature state of engine, engine power, coefficient of filling of cylinder, coefficient of remaining gases.

**Постановка проблеми.** В останні роки в Україні намітилася стійка тенденція ввезення і експлуатації автомобілів і автобусів зарубіжного виробництва, здебільшого із країн Західної Європи (Mercedes, IVEKO, Renault, Scania, DAF тощо). Сформована ще у минулому столітті вітчизняна практика технічної експлуатації автомобілів передбачає “продовження” життєвого циклу двигунів за допомогою їх капітального ремонту, зокрема механічною обробкою зношених поверхонь циліндрів до ремонтних розмірів діаметрів. Однак сформовані у нашій країні сервісні служби західноєвропейських виробників автомобілів і двигунів у технології ремонту переважно застосовують агрегатно-вузловий метод ремонту, тобто ті функціональні складові двигунів, що вийшли із ладу, замінюються новими. Такий вид ремонту, як механічна обробка зношених циліндрів двигунів до ремонтних розмірів, фактично не реалізується. Очевидною причиною цього є те, що двигуни, виготовлені західноєвропейськими фірмами, мають великий ресурс – 500...1000 тис. км пробігу, капітальні ремонти двигунів у системі їх технічної експлуатації не практикуються через порівняно високі виробничі витрати. Крім того, імпорتنі автомобілі і автобуси переважно ввозяться після тривалої експлуатації і на них не розповсюджуються гарантійні зобов’язання виробників. Враховуючи значне збільшення ресурсу шасі автомобілів і кузовів автобусів, що виробляються західноєвропейськими фірмами (ресурс кузовів внаслідок здійснення ефективних антикорозійних заходів перевищує ресурс двигунів у 2...3 рази), доцільно розглянути можливість продовження ресурсу двигунів за допомогою їх капітального ремонту.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В [1] розглядаються технологічні і експлуатаційні аспекти ремонту двигунів автомобілів ВАЗ збільшенням діаметрів їх циліндрів до ремонтних розмірів. Відзначається при цьому можливість продовження ресурсу двигунів і необхідність

виробництва поршнів і їх кілець ремонтних розмірів. У [2, 3] наведені теоретичні основи робочих процесів автомобільних двигунів, зокрема залежність їх енергетичних показників від діаметрів циліндрів. У [4] висвітлено вплив ремонтних змін розмірів циліндрів двигунів на їх температурний стан, у [5, 6] – особливості впливу параметрів двигунів на експлуатаційні властивості автомобілів.

**Формулювання мети дослідження.** Одним із базових елементів конструкції двигунів, що регламентують їх ресурс до капітального ремонту, є циліндри, тобто двигун експлуатується до граничного зношування їх робочих поверхонь. Виконувати це завдання необхідно, враховуючи технічні і економічні аспекти ремонту і експлуатації автомобілів і автобусів.

У технічному аспекті необхідно виділити виконання таких завдань: можливість обробки циліндрів до ремонтних розмірів, враховуючи механічні властивості матеріалу внутрішньої поверхні гільзи (глибина загартованого шару), зрозуміло – за збереження її міцності; можливість застосування поршнів і їхніх кілець ремонтних розмірів фірмового виробництва або їх виробництво необхідно освоювати; дослідити особливості зміни показників процесів теплообміну між внутрішньою поверхнею циліндрів і охолоджувальною рідиною через зменшення товщини стінок гільз; зміни характеристик двигунів, пов'язаних із ремонтною зміною діаметрів циліндрів. Оскільки особливості зміни показників процесів теплообміну між внутрішньою поверхнею циліндрів і охолоджувальною рідиною частково розглянуті у [1], то метою цієї роботи є аналіз впливу ремонтних змін діаметрів циліндрів на енергетичні характеристики двигунів.

**Основний матеріал.** Потужність двигуна, як один із його енергетичних показників, визначають, відповідно до функціональних залежностей від основних параметрів циклу, за формулою [2]:

$$N_e = kV_h \frac{Q_H}{l_0} g_{\Pi} \frac{h_i}{a} h_V h_M n, \quad (1)$$

де  $k$  – стала величина;  $V_h$  – робочий об'єм двигуна;  $Q_H$  – нижча теплотвірність палива;  $l_0$  – кількість повітря, необхідного для згоряння 1 кг палива;  $\gamma_{\Pi}$  – густина повітря;  $\eta_i$  – індикаторний ККД;  $a$  – коефіцієнт надлишку повітря;  $\eta_V$  – коефіцієнт наповнення;  $\eta_M$  – механічний ККД;  $n$  – частота обертання колінчастого вала двигуна.

Коефіцієнт наповнення визначають за формулою [3]:

$$h_V = \frac{\varepsilon p_a T_0}{(e-1)(1+g_r) p_0 T_a}, \quad (2)$$

де  $\varepsilon$  – ступінь стиску;  $p_0$  і  $p_a$  – відповідно, тиск оточуючого середовища (атмосферний) і в кінці наповнення;  $T_0$  і  $T_a$  – відповідно, температура свіжого заряду на впуску і в кінці наповнення;  $g_r$  – коефіцієнт залишкових газів.

Коефіцієнт залишкових газів визначають згідно з рівнянням проф. Гриневецького [0]:

$$g_r = \frac{p_r T_0}{h_V p_0 T_r (e-1)}, \quad (3)$$

де  $p_r$  і  $T_r$  – відповідно, тиск і температура залишкових газів.

Аналіз формули (2) показує, що збільшення ступеня стиску  $\varepsilon$  формально призводить до зменшення коефіцієнта наповнення  $\eta_V$ . Це, у разі зміни ступеня стиску за рахунок збільшення діаметра циліндра (робочого об'єму) за незмінного об'єму камери згоряння, можна пояснити так. За такту випуску, під час знаходження поршня у верхній “мертвій” точці, кількість відпрацьованих газів є незмінною і обмежується об'ємом камери згоряння із деяким надлишковим тиском, порівняно із тиском оточуючого середовища (атмосферним). За такту впуску кількість свіжого заряду визначатиметься насамперед пропускною здатністю впускного клапана – параметром “час-переріз”, який теж залишається незмінним, тобто за номінального і ремонтного діаметрів циліндра кількість повітря, яка справді надходить у циліндри, буде, фактично, однаковою. Відповідно, за

номінального і ремонтного діаметрів циліндра значення коефіцієнта наповнення визначатиметься залежностями [4]: за номінального діаметра циліндра

$$h_V = \frac{G}{G_h} = \frac{G}{V_h g_{\Pi}}, \quad (4)$$

за ремонтного діаметра циліндра:

$$h_{Vp} = \frac{G}{G_{hp}} = \frac{G}{V_{hp} g_{\Pi}}, \quad (5)$$

де  $G$  – маса повітря, яка справді надходить у циліндр;  $G_h$  і  $G_{hp}$  – маса повітря, яка теоретично могла б розміститися у циліндрі відповідно номінального і ремонтного діаметрів.

Порівняння формул (4) і (5) наочно підтверджує, що за однакової кількості повітря  $G$ , яка справді надходить у циліндр, за  $V_{hp} > V_h - \eta_{Vp} < \eta_V$ .

З іншого боку, як впливає із формули (3), збільшення ступеня стиску  $\epsilon$  призводить до зменшення коефіцієнта залишкових газів  $\gamma_r$ , яке, своєю чергою, призводить до збільшення коефіцієнта наповнення  $\eta_V$  (формула (2)).

У зв'язку із зміною ступеня стиску, тиску і температури залишкових газів, підігріву заряду і коефіцієнта залишкових газів залежність між коефіцієнтом наповнення і ступенем стиску є складнішою і визначається певними конкретними умовами. Дослідженнями підтверджено, що загалом вплив ступеня стиску на коефіцієнт наповнення, є незначним і фактично можна вважати, що ступінь стиску  $\epsilon$  на коефіцієнт наповнення  $\eta_V$  не впливає [0].

Враховуючи викладене, в (1) для конкретного двигуна і умов експлуатації фактично постійними можна прийняти значення  $k$ ,  $Q_{\Pi}$ ,  $l_0$ ,  $\alpha$ ,  $\eta_b$ ,  $\eta_m$ ,  $\eta_V$ ,  $n$ . Тоді формулу (1) можна записати у такому вигляді:

$$N_e = AV_h = 0,25AiSpD^2, \quad (6)$$

де  $A = k \frac{Q_{\Pi}}{l_0} g_{\Pi} \frac{h_i}{a} h_V h_m n$  – стала для цього двигуна величина;  $i$  – кількість циліндрів;  $S$  – хід поршня;  $D$  – номінальний діаметр циліндра.

Аналогічно, потужність двигуна за ремонтних змін (збільшення) діаметрів циліндрів:

$$N_{ep} = AV_{hp} = 0,25AiSpD_p^2, \quad (7)$$

де  $V_{hp}$  – робочий об'єм двигуна після збільшення діаметрів циліндрів;  $D_p$  – ремонтний діаметр циліндра.

Поділивши рівняння (7) на (6), отримаємо параметр, який характеризує збільшення потужності двигуна внаслідок ремонтного збільшення діаметра циліндра:

$$k_N = \left( \frac{D_p}{D} \right)^2. \quad (8)$$

Маючи номінальне значення потужності  $N_e$  і крутного моменту  $T_e$  двигуна, враховуючи вирази (6), (7), і (8), вказані параметри двигуна із ремонтними розмірами циліндрів, можна визначити за такими формулами:

$$N_{epi} = N_{ei} \left( \frac{D_p}{D} \right)^2 = k_N N_{ei}; \quad (9)$$

$$T_{epi} = T_{ei} \left( \frac{D_p}{D} \right)^2 = k_N T_{ei}, \quad (10)$$

де  $N_{epi}$  і  $T_{epi}$  – відповідно, значення потужності і крутного моменту двигуна із ремонтними розмірами циліндрів, залежно від частоти обертів його вала;  $N_{ei}$  і  $T_{ei}$  – відповідно, номінальні значення потужності і крутного моменту двигуна, залежно від частоти обертів його вала.

Тоді з врахуванням виразів (9 і 10), зовнішні швидкісні характеристики двигунів із ремонтними розмірами циліндрів, вважаючи незмінним їх швидкісний діапазон і враховуючи відомі залежності [0, 0], можна визначити за такими формулами:

$$N_{epi} = k_N N_{e \max} \left[ a \left( \frac{n_i}{n_N} \right) + b \left( \frac{n_i}{n_N} \right)^2 - c \left( \frac{n_i}{n_N} \right)^3 \right]; \quad (11)$$

$$T_{epi} = k_N T_{e \max} \left[ a + b \left( \frac{n_i}{n_N} \right) - c \left( \frac{n_i}{n_N} \right)^2 \right], \quad (12)$$

де  $n_i$  – частота обертів вала двигуна, якій відповідають значення потужності і крутного моменту  $N_{epi}$  і  $T_{epi}$ ;  $N_{e \max}$  і  $T_{e \max}$  – відповідно, номінальні значення максимальної потужності і крутного моменту двигуна;  $n_N$  – частота обертів вала двигуна, що відповідає максимальній потужності  $N_{e \max}$ ;  $a$ ,  $b$ , і  $c$  – коефіцієнти, сталі для цього двигуна.

Для розрахунків за формулами (11) і (12) необхідно мати точні значення коефіцієнтів  $a$ ,  $b$ , і  $c$  і для конкретного двигуна. Приклад для деяких із них наведено у табл. 1 [0].

Таблиця 1

### Параметри деяких двигунів

Марка	$N_{e \max}$ , кВт	$n_N$ , хв <sup>-1</sup>	$T_{e \max}$ , Нм	$n_T$ , хв <sup>-1</sup>	Коефіцієнти		
					$a$	$b$	$c$
ВАЗ-21011	50,7	5600	94,1	3400	0,88	0,69	0,57
ЗМЗ-24Д	69,9	4500	186,3	2500	0,85	1,46	1,31
ЗМЗ-511.10	84,6	3200	284,4	2250	0,44	2,12	1,56
ЗІЛ-508.10	110,3	3200	402	1900	0,75	1,59	1,34

За відсутності значень коефіцієнтів  $a$ ,  $b$ , і  $c$  можна використати графік зовнішньої швидкісної характеристики для конкретного двигуна і розрахунок значення потужності і крутного моменту двигуна із ремонтними розмірами циліндрів виконати за формулами (9) і (10).

Приклад розрахунків за (9) максимальної потужності деяких двигунів наведено у табл. 2.

Таблиця 2

### Значення потужності двигунів із ремонтними розмірами циліндрів

Марка двигуна	Діаметр циліндра, мм				Максимальна потужність, кВт			
	номінальний	ремонтний			номінальна $N_{e \max}$	за ремонтних розмірів		
		1-й	2-й	3-й		$N_{e \max 1}$	$N_{e \max 2}$	$N_{e \max 3}$
ВАЗ-21011	79	79,4	79,8	80	50,7	51,21	51,73	51,99
ЗМЗ-24Д	92	92,5	93	93,5	69,9	70,66	71,43	72,20
ЗМЗ-511.10	92	92,5	93	93,5	84,6	85,52	86,45	87,38
ЗІЛ-508.10	100	100,5	101	101,5	110,3	111,40	112,51	113,63

Для порівняння, на прикладі двигуна марки ЗМЗ-511.10 у табл. 3 наведені нормативні значення номінальної потужності і потужності двигуна із ремонтними розмірами циліндрів. Дані для ремонтних розмірів циліндрів наведено за результатами теплового розрахунку та розрахунку за (9) і (10).

**Характеристики двигуна ЗМЗ-511.10 порівняно із номінальними  
і ремонтними розмірами циліндрів**

Методика розрахунку	Параметр	Потужність, кВт, і крутний момент, Нм, двигуна за частоти обертів його вала, хв <sup>-1</sup>			
		600	900	2200	3200
Норматив	$N_{ei}$	12,8	21,53	65,52	84,60
	$T_{ei}$	203,7	228,4	284,4	252,50
Формули (9), (10)	$N_{epi}$	13,22	22,24	67,67	87,38
	$T_{epi}$	210,40	235,90	293,96	260,80
Тепловий розрахунок	$N_{epi}$	13,377	22,49	68,18	87,40
	$T_{epi}$	212,9	238,6	295,9	260,8

**Висновки:** 1. Проведено аналіз впливу ремонтних змін діаметрів циліндрів на енергетичні характеристики двигунів.

2. Обґрунтовано теоретичні залежності для розрахунку зовнішніх швидкісних характеристики двигунів із ремонтними розмірами циліндрів.

3. Доведено, що збільшення діаметрів циліндрів до ремонтних розмірів призводить до збільшення потужності і крутного моменту.

1. Автомобили ВАЗ: изнашивание и ремонт / А. А. Звягин, М. А. Масино, А. М. Мотин, Б. В. Прохоров; под общ. ред. А. А. Звягина. – Л.: Политехника, 1991. – 255 с. 2. Белов П. М. Двигатели армейских машин: в 2 ч. – Ч. 1: Теория / П. М. Белов, В. Р. Бурячко, Е. И. Акатов. – М.: Воениздат, 1971. – 512 с. 3. Белов П. М. Двигатели армейских машин: в 2 ч. – Ч. 2: Конструкция и расчет / П. М. Белов, В. Р. Бурячко, Н. К. Константинов, В. А. Коровин. – М.: Воениздат, 1972. – 568 с. 4. Немый С. В. Влияние ремонтных изменений размеров цилиндров двигателей на их температурное состояние / С. В. Немый, О. Й. Коцюмбас // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – М., 2014. – Вып 1 (36). – С. 27–32. 5. Литвинов А. С. Автомобиль: Теория эксплуатационных свойств / А. С. Литвинов, Я. Е. Фаробин. – М.: Машиностроение, 1989. – 240 с. 6. Проектирование трансмиссий автомобилей: справочник / А. И. Гришкевич, Б. У. Бусел, Г. Ф. Бутусов и др.; под общ. ред. А. И. Гришкевича. – М.: Машиностроение, 1984. – 272 с.