

**Дудчак Т.В.**Подільський державний  
аграрно-технічний університет,  
м. Кам'янець-Подільський, Україна  
E-mail: dvp48@i.ua**ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИБОЛОГІЧНИХ  
ВЛАСТИВОСТЕЙ МІДНО-ФТОРОПЛАСТОВИХ  
КОМПОЗИЦІЙ ТА РОЗРОБКА  
КОМБІНОВАНОГО ПОРШНЯ**

УДК 621.891.631.31

Зроблено аналіз впливу зазору між юбкою поршня і гільзою на перекладку поршня і зносостійкість деталей двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ). Пропонується комбінований поршень із вставками з мідно-фторопластової композиції, які забезпечать нанесення тонкої плівки міді на поверхні тертя на протязі всього ресурсу роботи ДВЗ, що значно зменшить задири, натири і збільшить зносостійкість деталей циліндро-поршневої групи (ЦПГ). Методом багатofакторного експерименту визначений оптимальний склад антифрикційної композиції.

**Ключові слова:** поршень, гільза, кільце, фторопластова композиція, перекладка.

**Вступ**

В процесі роботи під дією механічного, теплового і хімічного впливу змінюються початкові розміри і форма деталей ЦПГ, їх фізико-механічні властивості, що призводить до інтенсивного спрацювання спряжень і як наслідок до зниження моторесурсу двигуна внутрішнього згоряння.

Підвищення зносостійкості і довговічності деталей ЦПГ вирішується комплексом конструктивно технологічних і експлуатаційних засобів, з яких необхідно вибрати оптимальні, першочергові, які б забезпечили при мінімальних витратах максимальний економічний ефект.

З 1970 року по теперішній час ресурс роботи ДВЗ до капітального ремонту зріс з 100 ... 150 тис. км до 500 ... 600 тис. км (10000 ... 12000 мотогодин). Основні засоби по збільшенню ресурсу роботи деталей ЦПГ представлені на рис. 1.

Велика кількість факторів, які впливають на спрацювання деталей ЦПГ ускладнює вибір з них найважливіших, домінуючих.

Одним з факторів, який впливає на зносостійкість і довговічність спряжень: гільза – кільце – поршень є монтажний зазор між гільзою і юбкою поршня, а також збільшення його в процесі роботи ДВЗ. Забезпечення найменшого і рівномірного зазору в спряженні поршень – гільза один із шляхів підвищення надійності і довговічності поршневої групи. При великому діаметральному зазорі між юбкою поршня і гільзою (особливо при непрогрітому двигуні) під дією газових сил і нормальної бокової сили відбувається перекладка поршня, яка супроводжується ударами його по дзеркалу гільзи. Перекладка є причиною вібрації, підвищеного шуму, втомленого і кавітаційного руйнування деталей ЦПГ. При перекладці поршня виникає інтенсивне спрацювання гільзи, юбки поршня, поршневих канавок, торців поршневих кілець та ін.

**Мета і постановка задачі**

Підвищення зносостійкості і довговічності деталей ЦПГ.

**Виклад основного матеріалу**

В зв'язку з тим, що коефіцієнт лінійного розширення алюмінієвих сплавів  $(17 \dots 25) \cdot 10^{-6}$  майже в 2 рази більше ніж у чавуна  $(10 \dots 12) \cdot 10^{-6}$ , то виникають проблеми з забезпеченням рівномірного (по всій довжині юбки поршня) теплового зазору в спряженні поршень – гільза. Крім того після механічної обробки і збирання відхилення від циліндричності гільзи досягає 0,05 - 0,07 мм.

За кордоном рішення цієї проблеми пропонується застосуванням полімерних композиційних матеріалів. Так в США [1] запатентували двигун з поршнями, поршневими кільцями, гільзами циліндрів і блоками циліндрів, виготовленими з вуглепластиків. В двигуні суттєво зменшені теплові зазори між деталями ЦПГ, що в свою чергу зменшує удари при перекладці поршнів, прорив газів з камери згоряння, викидів незгорілих вуглеводородів.

В Німеччині [2] пропонується поршень виготовлений з вуглецю. Метод виготовлення конструкційного матеріалу з вуглецю включає пресування гранул вуглецю під високим тиском при високій температурі. Поршень з вуглецю має низький коефіцієнт тертя і теплового розширення, може надійно працювати на деяких режимах в умовах сухого тертя. Маса поршня набагато менша маси металічних поршнів. Також пропонується конструкція поршня з застосуванням вуглецевих вставок в стінках юбки поршня, сприймаючих бокові навантаження.

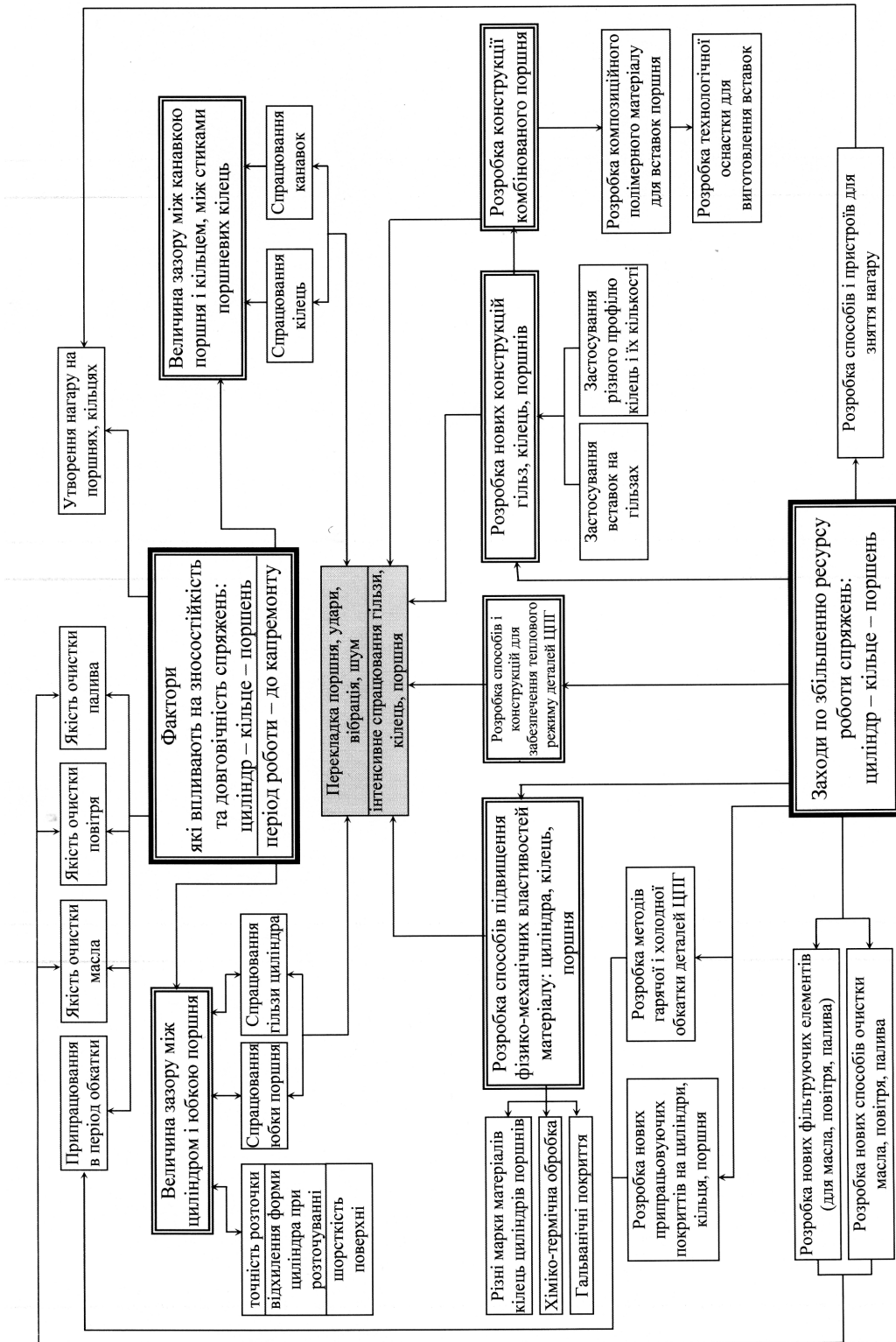


Рис. 1 – Конструктивно-технологічні заходи по збільшенню довговічності спряженя: циліндр - кильце - поршень

Застосування в ДВЗ поршнів з овально - бочкоподібним профілем направляючої частини запропоновано д-ром. техн. наук Б.Я. Гинцбургом. Для визначення оптимальних параметрів профілю юбки поршня в роботі [3] висунуті наступні вимоги:

1. Максимальний діаметр юбки повинен бути розташований на висоті вісі поршневого пальця, що забезпечить мінімальне значення нахилу поршня в циліндрі, коли поршень притиснутий до його стінки.

2. Між циліндром і максимальним діаметром поршня повинен бути мінімальний зазор, який гарантує роботу поршня без заклинювання.

3. При можливих нахилах поршня в межах зазору в циліндрі повинно гарантуватись відсутність кромочного контакту як вверху так і внизу юбки. Однак при цьому, по можливості повинна бути задіяна найбільша довжина юбки, так як можливі настири на кромках юбки або її інтенсивне спрацювання.

Метод проектування бочкоподібного профілю юбки поршня дозволяє, запланувавши форму юбки поршня в гарячому стані визначити форму поршня в холодному стані. Надання направляючої частині поршня бочкоподібного профілю необхідно для покращення умов змащення.

Автори роботи [4] пропонують поверхню направляючої частини поршня виконати криволінійною, тобто спроектувати форму юбки поршня самовстановлюючу, яка б забезпечила рідинне тертя і дозволила утворити масляний клин при різному нахилі і направленні руху поршня. Показано, що від зазору між юбкою поршня і циліндром залежить товщина стінки поршня. Зменшення товщини стінки юбки поршня збільшує її деформації від дії бокової сили  $N$ , що приводить до нахилу поршня і негативно впливає на роботу поршневих кілець.

Автори роботи [5] на основі теоретичних залежностей стверджують, що досягнути рівномірного зазору в спряженні поршень-гільза на робочому участку лобим профілюванням юбки поршня неможливо. Для зменшення зазору в спряженні доцільно усунути вплив механічних деформацій поршня шляхом видалення металу в місцях найбільшої деформації. Виходячи з умов технологічності автори пропонують виконати юбку циліндрично внизу з переходом в конус, тобто циліндрично – конічного профілю.

Розрахункове і експериментальне дослідження поперечного переміщення бочкоподібних поршнів зроблено в роботі [6]. Встановлено, що при малих зазорах між поршнем і циліндром (0,05 мм в робочих умовах) профіль бочкоподібного поршня мало впливає на перекладку, при великих зазорах (0,15 мм і більше) від продольного профілю юбки залежать такі параметри, як величина і розташування пляма контакту, спрацювання торців кілець і поршневих канавок, вібрація циліндра.

Вище приведений аналіз свідчить, що від величини зазору між юбкою поршня і гільзою, в робочому стані, суттєво залежить інтенсивність спрацювання деталей ЦПГ, тобто конструктивні і технологічні параметри потребують удосконалення.

Розробка комбінованого поршня.

Для зменшення зазору між поршнем і гільзою пропонується комбінований поршень [7] із вставками (рис. 2). В стандартному поршні дизельного двигуна з товщиною стінки 5 мм і більше профрезеровані два пази в вигляді “ластівчина хвоста” в які встановлені вставки з композиційного полімерного матеріалу на основі фторопласту Ф4. Різниця в коефіцієнтах термічного лінійного розширення дасть можливість „вибирати” зазори між поршнем і гільзою.

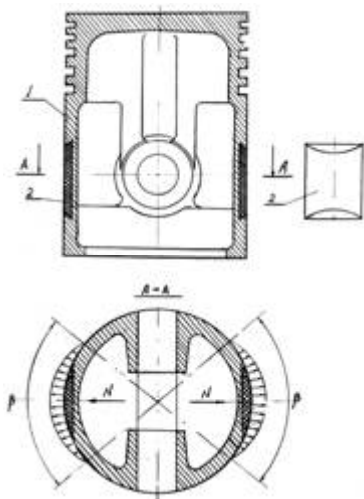


Рис. 2 – Комбінований поршень:  
1 – поршень;  
2 – вставка

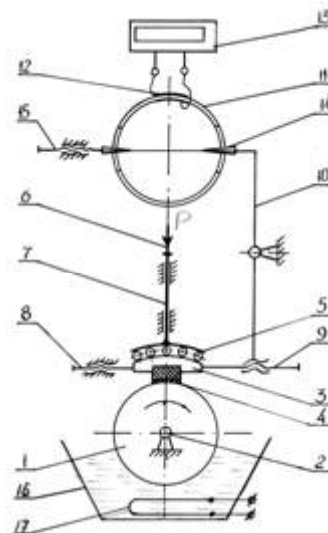


Рис. 3 – Схема приладу для вимірювання моменту тертя:  
1 – контргіло; 2 – вал; 3 – колода; 4 – полімерна композиція;  
5 – підшипник кочення; 6 – вантаж; 7 – каретка;  
8, 9 – регулювальні гвинти; 10 – важіль; 11 – сила вимірювач;  
12 – тензодатчик; 13 – вимірювач деформації;  
14, 15 – регулювальні упори; 16 – бачок для мастила; 17 – нагрівач

Вставки з мідно-фторопластової композиції забезпечать нанесення тонкої плівки міді на поверхні тертя на протязі всього ресурсу роботи ДВЗ, що значно прискорить припрацювання (обкатку), зменшить задири і настири, збільшить зносостійкість і довговічність деталей ЦПГ.

### Розробка композицій на основі фторопласту Ф4

Для антифрикційної полімерної композиції на основі фторопласту Ф4 були взяті наступні компоненти: політефторетилен ГОСТ 10007-78, вуглецева тканина ТГН-2М (попередньо подрібнена) порошкова мідь ПМС-1, дисульфід молибдену  $\text{MoS}_2$  (9,10). Для змішування і подрібнення компонентів застосовували млин МРП-2 ( $7000 \text{ хв}^{-1}$ ). На гідравлічному пресі ПСУ-250 в пресформі двосторонньої дії пресувались заготовки при  $P = 70 \dots 75 \text{ МПа}$ . Термообробка заготовок проводилась при температурі  $380 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5^\circ$  в печі СШО-3,2. Виготовлення вставок для поршнів і зразків для дослідження проводили механічною обробкою на токарному і фрезерному верстатах.

Лабораторні дослідження по визначенню інтенсивності зношування і коефіцієнту тертя проводили на машині тертя СМЦ-2 по схемі „вал-вкладиш”, причому для визначення моменту тертя застосовували спеціальний прилад [8]. Конструкція приладу передбачає можливість визначення моменту тертя безпосередньо від переміщення колодки (3) яке фіксується на цифровому вимірювачу деформації ИДЦ-1(13) і дозволяє збільшити точність вимірювання.

Для вкладиша (4) використовували зразки з алюмінієвого сплаву, з якого виготовлені поршня автотракторних двигунів і композицію на основі фторопласту Ф4.

Контртіло (1) було виготовлено з чавуну з якого зроблені гільзи двигунів. Швидкість ковзання зразків по контртілу складала  $1,0 \text{ м/с}$ , навантаження  $0,5 \text{ МПа}$ .

### Дослідження триботехнічних властивостей фторопластової композиції

Для дослідження використовували стандартний ротатбельний план другого порядку. Оптимізацію складу антифрикційної композиції для вставок поршнів проводили шляхом оцінки інтенсивності зношування і коефіцієнту тертя (рис. 4, рис. 5).

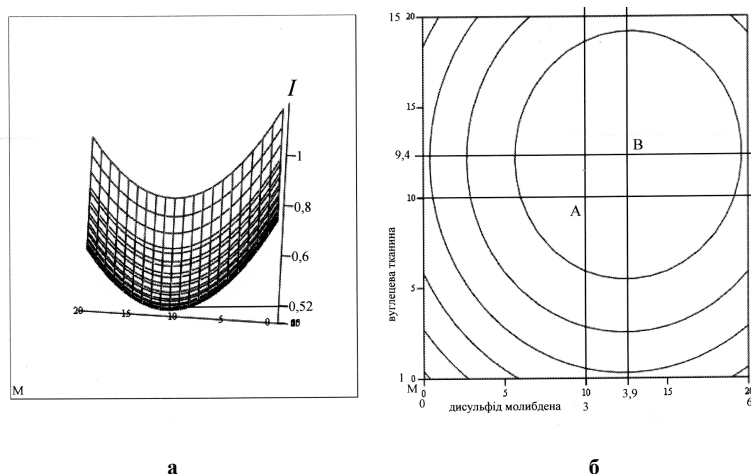


Рис. 4 – Графічна інтерпретація математичної моделі інтенсивності зношування (а) і двомірний переріз функції  $f(X_i, Y_i, Z_i)$  при  $Z_k = 0$

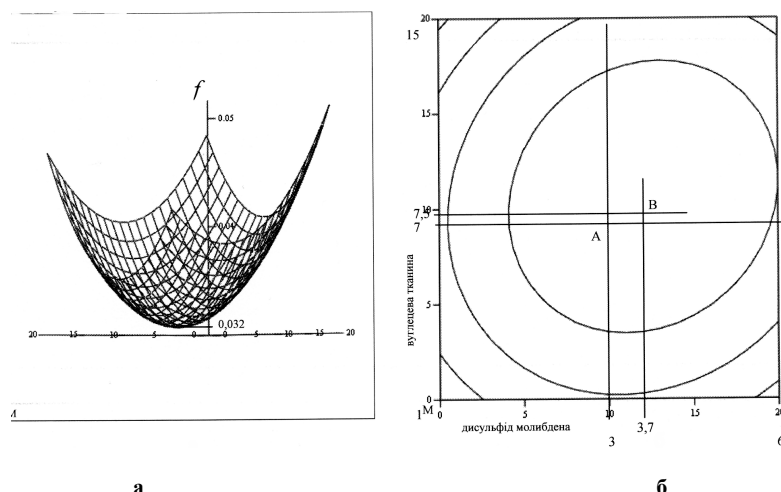


Рис. 5 – Графічна інтерпретація математичної моделі коефіцієнту тертя (а) і двомірний переріз функції  $f(X_1, Y_1, Z_1)$  при  $Z_k = 0$

Після виключення незначимих коефіцієнтів одержані наступні поліноміальні залежності інтенсивності зношування  $I$  і коефіцієнту тертя  $f$  від трьох факторів: складу дисульфиду молібдену ( $X$ ), вуглецевої тканини ( $Y$ ), порошкової міді ( $Z$ ).

$$\begin{aligned} & \text{Залежність інтенсивності зношування } (J \times 10^{-10}) \text{ має вигляд:} \\ I &= 0,5234 - 0,0208X + 0,3315Z + 0,1984X^2 + 0,2053Y^2 + \\ & + 1,1128Z^2 - 0,0075XY + 0,03YZ - 0,075 X Z. \end{aligned} \quad (1)$$

Залежність коефіцієнту тертя має вигляд:

$$\begin{aligned} f &= 0,0314 - 0,0005X + 0,0025Y + 0,01322Z + 0,0072X^2 + \\ & + 0,0089Y^2 + 0,0465Z^2 - 0,002XY - 0,001YZ - 0,0015ZX. \end{aligned} \quad (2)$$

Перевірка статистичної гіпотези, зробленої по критерію Фішера, показала адекватність регресивної моделі по функції відгуку при рівні значимості  $\alpha = 0,05$ .

Аналіз рівнянь (1, 2) і результати досліджень виявили, що оптимальним є склад, ваг. ч.:

фторопласт Ф4 – 100;

дисульфід молібдену – 3,7 ... 3,9;

вуглецева тканина – 7,5 ... 9,4;

порошкова мідь – 140 ... 160.

При оптимальному складі композиції коефіцієнт тертя дорівнює 0,032, інтенсивність зношування  $0,52 \cdot 10^{-10}$ .

### Висновки

Застосування вставок в поршнях забезпечить в зоні контакту натирання тонкої плівки міді, яка значно знизить сили тертя і збільшить зносостійкість деталей ЦПГ. Різниця в коефіцієнтах термічного лінійного розширення (алюмінієвий сплав – фторопластова композиція) дасть можливість „вибрати” зазори між поршнем і гільзою, що зменшить удари і вібрації при переключках поршня.

### Література

1. Пат. 6044819 США, МПК F 02 F 75/06. USA Administrator of the National Aeronautics and Space Administration, Rivers H. Kevin, Ranson Philip O., Northam G. Burton, Schwind Francis A. №08/808290; Заявл. 28.02.1997; Опубл. 04.04.2000; НПК 123/193.
2. Поршень. Заявка 19954334 Германия, МПК<sup>7</sup> F 02 F 3/00, F 02 F 3/02. *Federal-Modul Nürnberg GmbH, Linz Roland* (HOFFMANN-EITL, 81925 München). № 19954334.8; заявл. 11.11.1999; Опубл. 23.05.2001.
3. Гинцбург Б.Я. Профилирование овално-бочкообразных юбок поршней // Автомобильная промышленность №1. – 1972. – С. 16-20.
4. Костров А.В., Макаров А.Р. Выбор оптимальной жесткости направляющей части поршня двигателя // Автомобильная промышленность. – №10. – 1979. – С. 7-9.
5. Попов В.Н., Четошников В.И. К вопросу выбора формы поршня обеспечения минимального зазора в сопряжении поршень-цилиндр // Труды ЧИМЭСХ. – №88. – 1975. – С. 135-139.
6. Панкратова Н.П., Перельдик Г.И., Бронштейн Б.Э. Расчетное и экспериментальное исследование поперечного перемещения бочкообразных поршней // Автомобильная промышленность. – №5. – 1978 – С. 11-14.
7. Спосіб відновлення поршнів і антифрикційна композиція для його здійснення. Пат. на винахід України №61442А, СО8F114/26/ Дудчак В.П. Заявл. 06.02.2003. Опубл. 17.11.2003. Бюл. №11.
8. Прибор для измерения момента трения подшипников скольжения. А.с. №1223730 СССР / Петров Ю.Н., Дудчак В.П., Коляско И.В. Опубл. 8.12.1985. Бюл. №47.
9. Дудчак В.П., Остапенко Р.М., Дудчак Т.В. «Антифрикційна полімерна композиція» Патент на корисну модель № 82869. Бюл. № 16 від 27.08.2013.
10. Дудчак В.П., Остапенко Р.М., Дудчак Т.В. «Спосіб одержання пористої антифрикційної композиції на основі фторопласту» Патент на корисну модель № 82868. Бюл. №16 від 27.08.2013.

Поступила в редакцію 03.06.2015

**Dudchak T. V. Investigation of tribological properties of copper-fluoropolymer compositions and the development of a combined piston.**

The analysis of the influence of the clearance between the piston skirt and cylinder liners for the relining of the piston and the durability of parts of the internal combustion engine.

One factor that affects the wear resistance and durability pairing: sleeve-ring-piston, this clearance is present between the bushing and the piston skirt, and the increase in his service. To ensure dimensi and even gap in coupling the piston and sleeve is one way of increasing the reliability and durability of the piston. When the large diametrical clearance between the piston skirt and liner, especially with a cold engine under the action of the gas forces normal and lateral force occurs relining of the piston, which is accompanied by punches him in the mirror of the sleeve. Relining is the cause of vibration, increased noise, fatigue and cavitation destruction of the parts. With the shifting of the piston leads to intensive wear of the liner, piston skirt, piston grooves, the ends of the piston rings.

Proposed combined piston with inlays of copper-fluoropolymer compositions that will ensure the application of a thin film of copper on the surface of friction throughout the life of the internal combustion engine, which will greatly reduce scuffing, rubbing and increase the wear resistance of parts of the cylinder-piston group. Method of multifactorial experiment determined the optimal composition of the anti-friction composition.

**Key words:** piston, sleeve, ring, of copper-fluoropolymer, relining.

### References

1. Pat. 6044819 SShA, MPK F 02 F 75/06. USA Administrator of the National Aeronautics and Space Administration, Rivers H. Kevin, Ranson Philip O., Northam G. Burton, Schwind Francis A. №08/808290; Zjavl. 28.02.1997; Opubl. 04.04.2000; NPK 123/193.
2. Porshen'. Zajavka 19954334 Germanija, MPK7 F 02 F 3/00, F 02 F 3/02. Federal-Modul Nürnberg GmbH, Linz Roland (HOFFMANN-EITL, 81925 München). № 19954334.8; zjavl. 11.11.1999; Opubl. 23.05.2001.
3. Gincburg B. Ja. Profilirovanie oval'no-bochkoobraznyh jubok porshnej// Avtomobil'naja promyshlennost' №1, 1972 s. 16-20.
4. Kostrov A. V., Makarov A. R. Vybora optimal'noj zhestkosti napravljajushhej chasti porshnja dvigatelja. Avtomobil'naja promyshlennost' №10, 1979 s. 7-9.
5. Popov V. N., Chetoshnikov V. I. K voprosu vybora formy porshnja obespechenija minimal'nogo zavora v soprjazhenii porshen'-cilindr. Trudy ChIMJeSH, №88, 1975 s. 135-139.
6. Pankratova N. P., Pere'dik G. I., Bronshtejn B. Je. Raschetnoe i jeksperimental'noe issledovanie poperechnogo peremeshhenija bochkoobraznyh porshnej. Avtomobil'naja promyshlennost' №5, 1978 s. 11-14.
7. Sposib vidnovlennja porshniv i antifrikcijna kompozicija dlja jogo zdijsnennja. Pat. na vinahid Ukraïni №61442A, SO8F114/26/ Dudchak V. P. Zjavl. 06.02.2003. Opubl. 17.11.2003. Bjul. №11.
8. Pribor dlja izmerenija momenta trenija podshipnikov skol'zhenija. A. s. №1223730 SSSR / Petrov Ju. N., Dudchak V. P., Koljasko I. V. Opubl. 8.12.1985. Bjul. №47.
9. Dudchak V. P., Ostapenko R. M., Dudchak T. V. «Antifrikcijna polimerna kompozicija» Patent na korisnu model' № 82869. Bjul. № 16 vid 27.08.2013.
10. Dudchak V. P., Ostapenko R. M., Dudchak T. V. «Sposib oderzhannja poristoï antifrikcijnoj kompozicij na osnovi ftoroplastu» Patent na korisnu model' № 82868. Bjul №16 vid 27.08.2013.