

І.В. Парсаданов, В.В. Островерх, О.М. Клименко, Д.В. Павлов

ОЦІНКА ВПЛИВУ ПОКРИТТЯ ПОВЕРХНІ ПОРШНІВ НА ПОКАЗНИКИ ДИЗЕЛЯ

Використання покриття поршнів дозволяє позитивно впливати на показники дизельного двигуна, що сприяє впровадженню різноманітних технологій покриття у виробництво. Приватним підприємством «Завод Двигун» (м. Мелітополь) впроваджено технологію нанесення покриття дисульфідом молібдену на бічну поверхню поршня і поверхню КЗ в поршні дизелів. Оцінка впливу цієї технології на показники дизельного двигуна надана за результатами досліджень на кафедрі ДВЗ НТУ «ХП». Дослідження проведені на дизельному двигуні 4ЧН12/14 з безпосереднім впорскуванням палива, газотурбінним наддувом та проміжним охолодженням наддувального повітря із визначенням індикаторних діаграм, показників токсичності і димності відпрацьованих газів. При обробці результатів досліджень враховувався вплив покриття поверхні камери згоряння на показники потужності, паливної економічності, нагароутворення. Позитивний ефект на процес згоряння в дизельному двигуні при використанні покриття пов'язане із зменшенням втрат на тертя і зростанням теплоти, виділеної в початковий період згоряння. Підвищення швидкості згоряння дозволяє припустити поліпшення прискореного сумішоутворення за рахунок підвищення температури стінок камери згоряння при її теплоізоляції. Деяке підвищення максимального тиску при малих потужностях не надасть негативного впливу на механічне навантаження дизеля.

Вступ

Певний резерв у поліпшенні показників паливної економічності та екологічності дизелів існує при забезпеченні теплоізоляції КЗ [4-6] за рахунок прискорення підготовки палива до згоряння і зменшення втрат виділеної при згорянні теплоти в систему охолодження. Вищевказане обумовлює актуальність цього напрямку модернізації ДВЗ.

Приватним підприємством «Завод Двигун» (м. Мелітополь) на базі власних виробничих потужностей впроваджено технологію нанесення покриття дисульфідом молібдену на бічну поверхню поршня і поверхню КЗ в поршні дизелів.

Для оцінки ефективності вказаного заходу на кафедрі двигунів внутрішнього згоряння НТУ «ХП» проведено дослідження поршнів з покриттям поверхні камери згоряння, виготовлених за технологією ПП «Завод Двигун».

Мета роботи

Метою роботи є визначення впливу покриття поршнів на показники автотракторного дизеля і надання оцінки щодо впровадження технології ПП «Завод Двигун» у виробництво.

За об'єкт дослідження обрано автотракторний дизель 4ЧН12/14, з рядним розташуванням циліндрів, рідинним охолодженням, з безпосереднім впорскуванням палива в камеру згоряння в поршні, газотурбінним наддувом та проміжним охолодженням наддувального повітря.

Методика дослідження

Дослідження проведено на стенді науково-дослідної лабораторії перспективних двигунів кафедри ДВЗ НТУ «ХП». При проведенні досліджень стенд було укомплектовано обладнанням для вимірювання концентрації у відпрацьованих газах оксидів азоту (NO_x), монооксиду вуглецю (CO), а також димності відпрацьованих газів (N). Калібрування газо-

аналізатору виконувалося безпосередньо перед випробуваннями та після них за допомогою еталонних повітряних газових сумішей.

Тепловий стан дизеля визначався за допомогою вимірювальної системи, що складається з хромель-алюмелевих термопар типу Т9Д та модуля вводу сигналів від термопар Advantech USB-4718, який обробляє, оцифровує та записує на жорсткий диск ЕОМ значення електрорухомої сили термопар.

Для індиціювання процесів у циліндрі ДВЗ і реєстрації тиску палива на вході у форсунку разом з реєстрацією переміщення голки розпилювача використано високотехнологічний комплекс на основі п'єзокварцового датчика AVL 8QP 505с та аналогоцифрового перетворювача L-Card 783-86. Запис сигналів на носій виконується за допомогою ліцензійного програмного забезпечення PowerGraph версії 3.2 Professional, яке забезпечує візуалізацію вимірюваного процесу.

Товщина нагару на поверхні камери згоряння вимірювалася товщиноміром WALCOM CM-8826FN, робота якого основана на принципах магнітної індукції та вихрових токів.

Дослідження проведено з двома варіантами поршнів – вихідний варіант поршнів 23-0305А (рис. 1, а) та дослідний варіант поршнів з покриттям поверхні КЗ (рис. 1, б). Товщина покриття складає 10 мкм. Обидва варіанта поршнів отримані від заводу-виробника та пройшли мікрометраж і обкатку на дизелі.

Випробування дизеля склалися з наступних етапів:

- зняття характеристики холостого ходу в діапазоні частот обертання колінчастого вала (КВ) $n = 1000 \dots 2000 \text{ хв}^{-1}$;
- зняття характеристики по куту випереження впорскування палива (КВВП, Θ) на режимах $n = 2000 \text{ хв}^{-1}$, $N_e = 90 \text{ кВт}$ та $n = 1500 \text{ хв}^{-1}$, $N_e = 76 \text{ кВт}$ при значеннях Θ 14, 18 та 22 град. п.к.в.

до ВМТ);

- зняття навантажувальних характеристик при частотах обертання КВ $n = 2000$ і 1500 хв⁻¹.

КВВП при знятті характеристик холостого ходу і навантажувальних характеристик був незмінним і складав $\Theta = 22$ град. п.к.в. до ВМТ.



а)



б)

Рис. 1. Поршні:
а – 23-0305А; б – дослідні поршні з покриттям поверхні КЗ виробництва ПП «ЗАВОД ДВИГУН»

На кожному режимі визначалися ефективні показники роботи двигуна: витрата палива, токсичність (концентрації оксидів азоту, монооксиду вуглецю) і димність відпрацьованих газів, режимні показники роботи дизеля; проводилося індиціювання двигуна.

Після завершення кожного циклу випробувань під час розбирання дизеля виконувалося вимірювання товщини шару нагару.

Дослідження проведені без заміни гільз циліндрів і поршневих кілець дизеля. При перебиранні перестановка поршнів і поршневих кілець в інші циліндри не допускалася.

Режими випробувань дизеля за навантажувальними характеристиками представлено у табл. 1.

Реєстрація досліджуваних показників здійснювалася при ustalених значеннях температур відпрацьованих газів, масла та охолоджуючої рідини. Заміри повторювалися 3...5 разів.

Результати дослідження

Результати досліджень дизеля щодо визначення впливу покриття поршня на годинну витрату палива для режимів холостого ходу в залежності від частоти обертання КВ наведено на рис. 2.

Дані рис. 2 вказують на те, що на холостому ході розбіжність в годинній витраті палива при роботі дизеля з вихідним варіантом поршнів та варіантом поршнів з покриттям поверхні КЗ стає помітною з підвищенням частоти обертання КВ більш, ніж $n = 1300$ хв⁻¹. Так, на холостому ході при частоті

обертання КВ $n = 1400$ хв⁻¹ дизеля з поршнями, що мають покриття поверхні КЗ, годинна витрата палива на 1,5 % менше, а при частоті обертання КВ $n = 2000$ хв⁻¹ – на 2,4 % менше годинної витрати палива у порівнянні з поршнями 23-0305А (без покриття поверхні КЗ). Зменшення витрати палива на холостому ходу пов'язане із зниженням втрат на тертя в сполученні поршень – гільза.

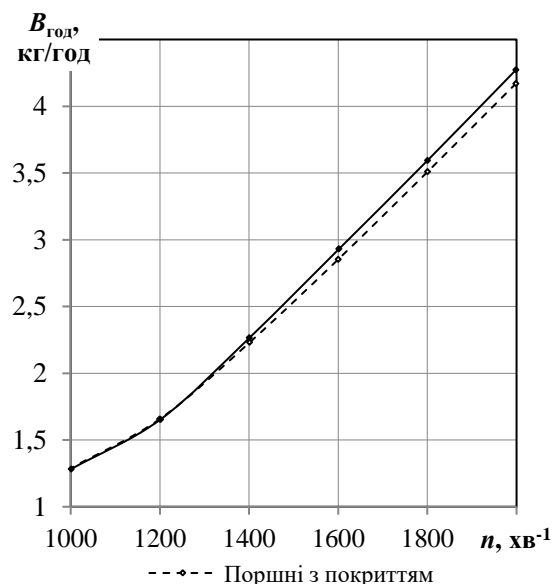


Рис. 2. Залежності годинної витрати палива від частоти обертання КВ при роботі дизеля на холостому ході

Випробування дизеля за характеристикою по куту випередження впорскування палива показали,

що характер впливу КВВП на витрату палива при роботі з поршнями 23-0305А та поршнями з покриттям КЗ не змінюється (рис. 3).

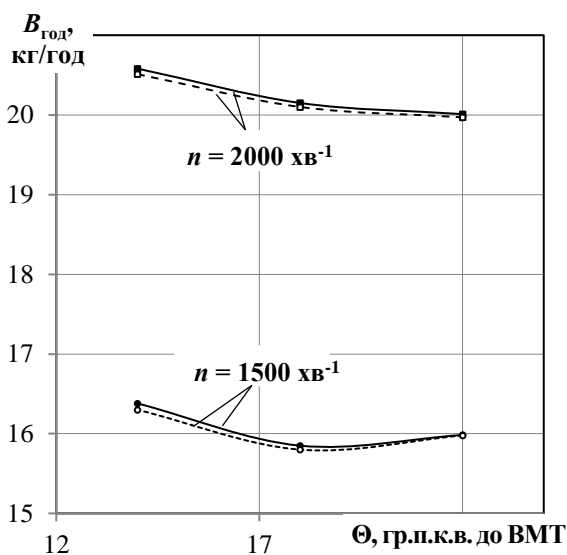


Рис. 3. Залежності годинної витрати палива від КВВП

Результати досліджень дизеля з вихідним варіантом поршнів та варіантом поршнів з покриттям за навантажувальними характеристиками при частотах обертання КВ $n = 2000 \text{ хв}^{-1}$ та 1500 хв^{-1} (рис. 4) свідчать, що із зменшенням потужності дизеля вплив покриття поршнів на годинну витрату палива зростає.

На рис. 5 наведено залежності питомої витрати палива g_e та коефіцієнта надлишку повітря α_p від потужності при роботі дизеля за навантажувальними характеристиками. Видно, що економічна ефективність використання поршнів з покриттям виявляється при роботі дизеля на режимах із зниженим навантаженням. Коефіцієнт надлишку повітря, який міг би надавати вплив на характер перебігу паливної економічності, при цьому не змінюється у всьому діапазоні навантаження дизеля.

Температури відпрацьованих газів t_r при роботі дизеля з комплектом поршнів з покриттям поверхні КЗ нижче на режимах мінімальних навантажень (рис. 6). На режимах середніх і максимальних навантажень при частоті обертання КВ $n = 2000 \text{ хв}^{-1}$ і $n = 1500 \text{ хв}^{-1}$ різниця в температурах відпрацьованих газів незначна.

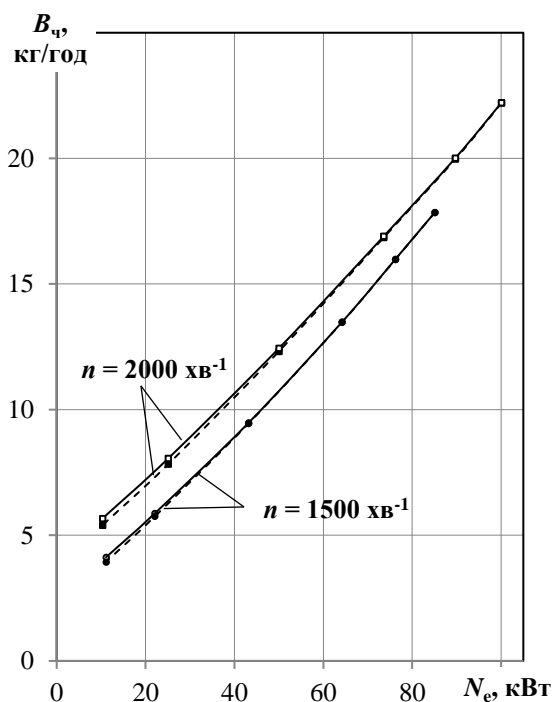


Рис. 4. Залежності годинної витрати палива від потужності дизеля при роботі за навантажувальними характеристиками

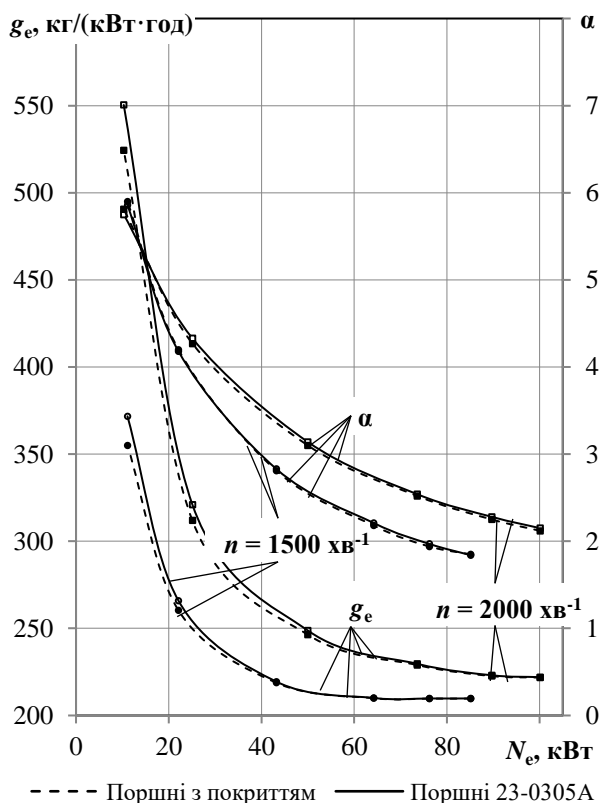


Рис. 5. Залежність питомої витрати палива та коефіцієнта надлишку повітря від потужності дизеля при роботі за навантажувальними характеристиками

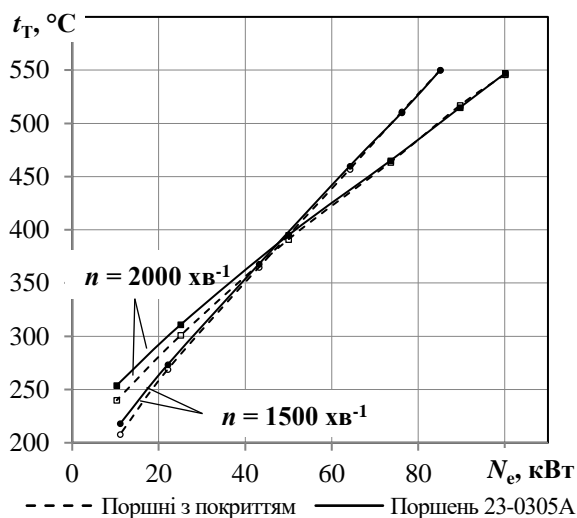


Рис. 6. Залежність температури відпрацьованих газів від потужності дизеля при роботі за навантажувальними характеристиками

Така різниця в температурах відпрацьованих газів істотно не надає впливу на умови роботи турбіни турбокомпресора і не призводить до зменшення енергії відпрацьованих газів. Тиск повітря на виході з компресора та на вході в циліндри дизеля p_s залишається на одному рівні.

Відношення тиску повітря на вході в циліндри

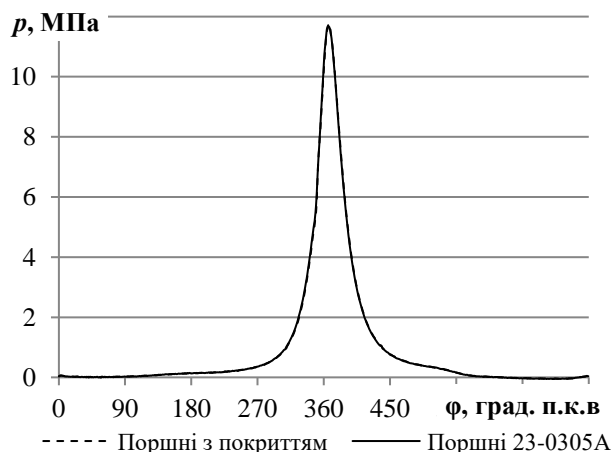


Рис. 7. Індикаторні діаграми дизеля при роботі на режимі $n = 1500 \text{ хв}^{-1}$, $N_e = 85 \text{ кВт}$

Збільшення максимального тиску згоряння сприяє зростанню теплоти, що виділяється в початковий період згоряння при спалаху палива. Позитивний вплив зростання тепловиділення може бути пов'язаний із прискоренням підготовки палива до згоряння і зменшенням втрат виділеної при згоряння теплоти в систему охолодження за рахунок

до тиску відпрацьованих газів перед турбіною, яке характеризує роботу насосних втрат в дизелі, практично не відрізняється на порівняльних характеристиках роботи дизеля при частотах обертання КВ $n = 2000 \text{ хв}^{-1}$ та 1500 хв^{-1} .

Таким чином, за результатами досліджень можна констатувати, що при роботі за навантажувальною характеристикою $n = 2000 \text{ хв}^{-1}$ питома витрата палива залишається незмінною при максимальній потужності і потужності 0,5 від максимальної, та зменшується при роботі дизеля із поршнями з покриттям при потужності 0,1...0,5 від максимальної на 2...4,5 %. Така ж закономірність спостерігається і при роботі дизеля за навантажувальною характеристикою $n = 1500 \text{ хв}^{-1}$.

Для аналізу індикаторних показників розглянуто індикаторні діаграми, одержані при роботі дизеля при частоті обертання колінчастого валу $n = 1500 \text{ хв}^{-1}$ на режимах $N_e = 85 \text{ кВт}$ і $N_e = 22 \text{ кВт}$ з поршнями без покриття і з покриттям поверхні КЗ, (рис. 7 та 8).

Видно, що при потужності дизеля 85 кВт індикаторні діаграми та максимальний тиск згоряння повністю збігаються. В той же час при потужності 22 кВт максимальний тиск згоряння вище на 0,5 МПа при роботі дизеля з поршнями з покриттям поверхні КЗ.

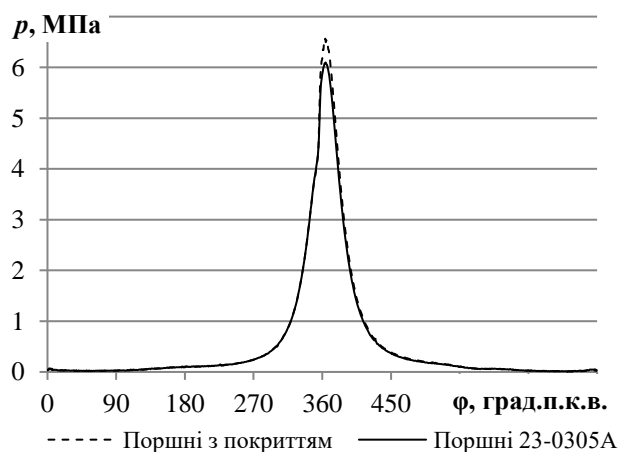


Рис. 8. Індикаторні діаграми дизеля при роботі на режимі $n = 1500 \text{ хв}^{-1}$, $N_e = 22 \text{ кВт}$

теплоізоляції при нанесенні покриття.

Максимальний тиск згоряння p_z , характеризує механічне навантаження на дизель. Залежності максимального тиску згоряння що визначені по індикаторним діаграмам, наведено на рис. 9 і 10.

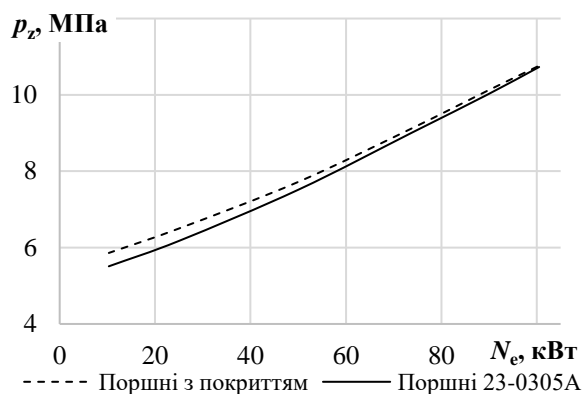


Рис. 9. Максимальний тиск згоряння в циліндрі дизеля при роботі за навантажувальною характеристикою $n = 2000 \text{ хв}^{-1}$

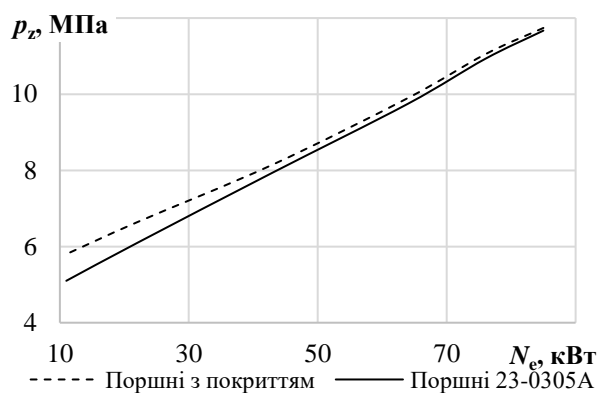


Рис. 10. Максимальний тиск згоряння в циліндрі дизеля при роботі за навантажувальною характеристикою $n = 1500 \text{ хв}^{-1}$

З наведених даних випливає, що максимальний тиск згоряння при роботі дизеля з поршнями з покриттям КЗ незначно підвищився в порівнянні з роботою дизеля з поршнями без покриття головним чином при потужності 0,1...0,5 від максимальної для обох досліджених частот обертання КВ. Деяке підвищення максимального тиску при малих потужностях не оказує негативного впливу на механічне навантаження дизеля.

Результати дослідження димності та токсичності відпрацьованих газів при роботі дизеля з поршнями 23-0305А та поршнями з покриттям поверхні КЗ виробництва ПП «Завод Двигун» наведені на рис. 11...13.

З наведених даних можна відмітити деяке покращення показника димності відпрацьованих газів на всіх досліджуваних режимах при роботі з поршнями з покриттям поверхні КЗ (рис. 11).

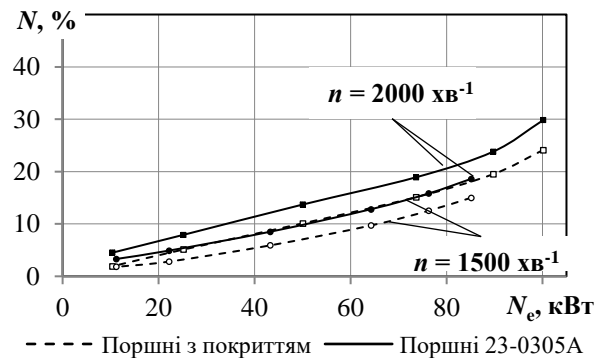


Рис. 11. Залежність димності відпрацьованих газів від потужності дизеля

Найбільший позитивний ефект при випробуванні поршнів з покриттям КЗ одержаний від зменшення викиду з відпрацьованими газами монооксиду вуглецю. Наведені на рис. 12 дані свідчать, що при дослідженнях дизеля з поршнями з покриттям КЗ зменшення концентрації СО у ВГ складає

180...250 млн⁻¹ при $n = 1500 \text{ хв}^{-1}$ та 140...170 млн⁻¹ при $n = 2000 \text{ хв}^{-1}$ у всьому діапазоні навантажень дизеля.

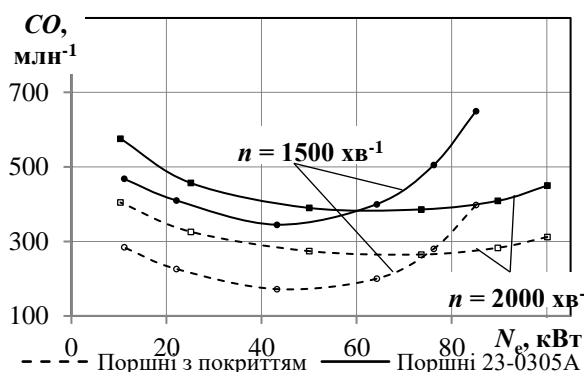


Рис. 12. Залежність концентрації монооксиду вуглецю у відпрацьованих газах від потужності дизеля

Водночас слід відмітити деяке зростання концентрації оксидів азоту NO_x у відпрацьованих газах при роботі дизеля з поршнями з покриттям КЗ відносно поршнів без покриття. З рис. 13 можна відмітити зростання NO_x на 50...150 млн⁻¹ при потужності дизеля від 0,5 до максимальної для обох частот обертання КВ.

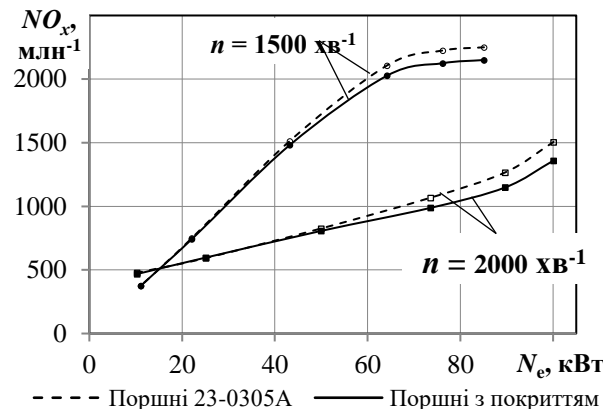


Рис. 13. Залежність концентрації оксидів азоту у відпрацьованих газах від потужності дизеля

Таким чином, результати дослідження впливу покриття поршнів на показники димності та токсичності відпрацьованих газів показали, що збільшення температури робочого тіла в циліндрі дизеля, яке є результатом впливу теплоізоляційних властивостей і особливостей технології покриття КЗ, має позитивний вплив на димність і викиди монооксиду вуглецю, проте приводить до деякого збільшення викиду оксидів азоту.



Рис. 14. Поршині 23-0305А після циклу випробувань



Рис. 15. Дослідні поршині з покриттям поверхні КЗ після циклу випробувань

В результаті випробувальних циклів навантаження протягом 16 годин на поверхнях камери згоряння в поршні та головки циліндрів і бічної поверхні поршня вище першого поршневого кільця поршня 23-0305А утворився шар нагару (переважно в лакоподібному стані) товщиною 170...250 мкм (див. рис. 14).

При роботі дизеля з поршнями з покриттям поверхні камери згоряння (рис. 15), товщина утвореного шару нагару склала 5...15 мкм. Причому нагар знаходився виключно в порохоподібному стані. На поверхнях поршня, де було відсутнє покриття (периферія верхньої поверхні головки поршня, бічна поверхня поршня вище першого поршневого кільця), виявлено нагар в порохо- та лакоподібному стані товщиною 70...120 мкм.

Тобто, використання дослідних поршнів з покриттям поверхні камери згоряння зменшує ступінь

Після завершення кожного циклу випробувань під час розбирання дизеля виконувалося вимірювання товщини шару нагару товщиноміром WALCOM CM-8826FN.

Дослідження виявило зменшення ступеня нагароутворення при використанні дослідних поршнів виробництва ПП «Завод Двигун» (рис. 14, 15).

нагароутворення. Вищевказане виявляє можливість покращити надійність циліндро-поршневої групи та двигуна в цілому при використанні дослідних поршнів з покриттям поверхні камери згоряння.

Висновки

В результаті оцінки впливу покриття поршнів виробництва ПП «Завод Двигун» на показники дизеля встановлено наступне.

З точки зору паливної економічності покриття поверхні поршнів найбільш ефективно для режимів малих навантажень і холостого ходу. На холостому ході розбіжність в годинній витраті палива при роботі дизеля з вихідним варіантом поршнів та дослідним варіантом поршнів з покриттям поверхні камери згоряння стає помітною з підвищенням частоти обертання колінчастого вала більш, ніж $n = 1300 \text{ хв}^{-1}$.

Поліпшення паливної економічності дизеля пов'язане із зниженням втрат на тертя і зростанням теплоти, виділеної в початковий період згоряння. Підвищення швидкості згоряння дозволяє припустити поліпшення пристінкового сумішоутворення за рахунок підвищення температури стінок камери згоряння за рахунок її теплоізоляції. Деяке підвищення максимального тиску при малих потужностях не надасть негативного впливу на механічне навантаження дизеля.

При роботі з поршнями з покриттям поверхні КЗ відзначається зниження димності відпрацьованих газів і концентрації монооксиду вуглецю, водночас має місце деяке зростання концентрації оксидів азоту у відпрацьованих газах.

Використання покриття поверхні камери згоряння поршнів дозволяє зменшити ступінь нагароутворення, що виявляє можливість покращити надійність циліндропоршневої групи дизеля.

Список літератури:

1. Парсаданов И.В. Повышение качества и конкурентоспособности дизелей на основе комплексного топливно-

экологического критерия: Монография / И.В. Парсаданов. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2003. – 244 с. 2. Smavik Magnus B. Thermal barrier influence on performance and heat transfer of a medium speed two-stroke diesel engine / B. Smavik Magnus // SAE Technical Paper Series. – 1988. – №880435. – P. 153-162. 3. A structural ceramic diesel engine – the critical elements / W. R. Wade, P. H. Hanstad, V. D. Rao et al. // SAE Technical Paper Series. – 1987. – №870651. – P. 251-264. 4. Morel T. Heat transfer experiments in an insulated diesel / Morel T., Wahiduz Z. S., Fort E. F. // SAE Technical Paper Series. – 1988. – №880186. – P. 61-81.

Bibliography (transliterated):

1. Parsadanov I., (2003), Improving the quality and competitiveness of diesel engines on the basis of an integrated fuel and ecological criteria: Monograph [Povyshenie kachestva i konkurentosposobnosti dizel'ej na osnove kompleksnogo toplivno-ehkologicheskogo kriteriya: Monografiya], Kharkov, NTU "HPI", 244 p. 2. Smavik Magnus B., (1988), Thermal barrier influence on performance and heat transfer of a medium speed two-stroke diesel engine, SAE Technical Paper Series, №880435, pp. 153-162. 3. W. R. Wade, P. H. Hanstad, V. D. Rao et al, (1987), A structural ceramic diesel engine – the critical elements, SAE Technical Paper Series, №870651, pp. 251-264. 4. Morel T., Wahiduz Z. S., Fort E. F., (1988), Heat transfer experiments in an insulated diesel, SAE Technical Paper Series, №880186, pp. 61-81.

Надійшла до редакції 11.07.2018 р.

Парсаданов Ігор Володимирович – докт. техн. наук, проф., гол. наук. співр. кафедри двигунів внутрішнього згоряння Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, e-mail; parsadanov@kpi.kharkov.ua, <http://orcid.org/0000-0003-0587-4033>.

Острроверх Вадим Вікторович – директор ПП «Завод Двигун», Мелітополь, Україна.

Клименко Олександр Миколайович – канд. техн. наук, науковий співробітник кафедри двигунів внутрішнього згоряння Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, e-mail: klim23051987@gmail.com.

Павлов Дмитро Вікторович – інженер-конструктор ПП «Завод Двигун», Мелітополь, Україна.

Строков Олександр Петрович – докт. техн. наук, проф., професор кафедри автомобільного та транспортних технологій Класичного приватного університету, Запоріжжя.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ПОКРЫТИЯ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ В ПОРШНЕ НА ТОПЛИВО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭФФЕКТИВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДИЗЕЛЯ

И.В. Парсаданов, В.В. Острроверх, А.М. Клименко, Д.В. Павлов, А.П. Строков

Работа посвящена анализу комплексного влияния покрытия камеры сгорания поршней производства ЧП «Завод Двигатель» на показатели автотракторного дизеля. При выполнении работы проведены стендовые исследования, определены эффективные и индикаторные показатели, концентрации токсичных веществ в отработавших газах, дымность отработавших газов и степень нагарообразования при работе автотракторного дизеля с опытными поршнями (с покрытием поверхности камеры сгорания) по сравнению с поршнями 23-0305А (без покрытия). Результаты проведенных исследований являются основой для оценки экономической и экологической эффективности использования технологии покрытия камеры сгорания поршней производства ЧП «Завод Двигатель» в эксплуатации.

EXPERIMENTAL STUDY OF THE INFLUENCE OF THE APPLICATION OF COATING OF THE COMBUSTION CHAMBER IN THE PISTON ON FUEL AND ENVIRONMENTAL AND EFFECTIVE DIESEL INDICATORS

I.V. Parsadanov, V.V. Ostroverkh, OM Klimenko, D.V. Pavlov, A.P. Strokov

The work is devoted to the analysis of the complex effect of the coating of the combustion chamber of pistons produced by PE «Zavod Dvigatel» on the parameters of an automotive tractor diesel engine. During the performance of the work bench tests were conducted, the effective and indicator indicators, the concentrations of toxic substances in the exhaust gases, the smoke of the exhaust gases and the degree of carbon formation during the operation of an autotractor diesel engine with pilot pistons (with the surface of the combustion chamber) compared to the pistons 23-0305A). The results of the studies are the basis for assessing the economic and environmental efficiency of using the technology of coating the combustion chamber of pistons produced by PE «Zavod Dvigatel» in operation.