

# ДВИГУНИ І ЕНЕРГЕТИЧНІ УСТАНОВКИ

УДК 621.43.016.4: 536.434

*А. П. МАРЧЕНКО*, д-р техн. наук, проф. НТУ «ХП»;  
*В. В. ШПАКОВСЬКИЙ*, д-р техн. наук, ст. наук. співр. НТУ «ХП»;  
*В. В. ПИЛЬОВ*, аспірант НТУ «ХП»

## **ПІДВИЩЕННЯ ЕКОНОМІЧНОСТІ БЕНЗИНОВОГО ДВИГУНА НА РІЗНИХ РЕЖИМАХ РОБОТИ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ ЧАСТКОВО-ДИНАМІЧНОЇ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЇ ПОРШНІВ**

В статті проаналізовано результати випробувань бензинового двигуна з поршнями, поверхні яких було модифіковано за гальвано-плазменною технологією. Встановлено посилення позитивного впливу частково-динамічної теплоізоляції на питому витрату палива зі зменшенням частоти обертання колінчастого валу та підвищенням навантаження.

**Ключові слова:** двигун внутрішнього згоряння, низькотеплопровідне покриття, ефект частково-динамічної теплоізоляції, режими роботи, експериментальні дослідження, економічність

**Постановка проблеми.** Одним з перспективних способів покращення робочого процесу двигунів внутрішнього згоряння є застосування на деталях їх камер згоряння (КЗ) низькотеплопровідних покриттів, що викликають ефект частково-динамічної теплоізоляції (ЧДТ) [1]. Проте, на сьогодні, це явище вивчено ще в недостатній мірі, – моделі його опису є недосконалими, а дані випробувань, подеколи, суперечливими.

**Аналіз публікацій.** Розглянемо результати ряду експериментів щодо економічності двигунів з теплозахисними покриттями на поршнях, які проводилися різними дослідниками.

Для швидкохідного дизеля Д20 з емалевим покриттям товщиною 0,35 мм на алюмінієвому поршні, що наносилося плазменним способом, встановлено покращення питомої ефективної витрати палива на 3-5 г/(кВт·год) [2]. При нанесенні шару ZrO<sub>2</sub> товщиною 1 мм на поршень та 2 мм на головку блоку циліндрів двигуна 1ДН200/300 було зафіксовано зменшення витрати палива і максимального тиску згоряння [3].

Але покращення економічності при введенні покриття спостерігається не завжди. Так випробування двигуна 1С12,5/14 засвідчують погіршення питомої ефективної витрати палива в переважній частині навантажувальної характеристики [4]. Також можливе зниження коефіцієнту наповнення через підвищення температури теплоізолюваної стінки та підвищення втрат теплоти з відпрацьованими газами [5]. Негативний вплив кераміки на показники двигунів було зафіксовано у сумісному дослідженні, проведеним фірмами Opel, VolksWagen, Steyr-Daimler-Puch, Daimler-Benz, Porsche, Audi, BMW та MAN [6].

Спираючись на дослідження відсіку дизельного двигуна 1Ч125/140, проф. Г. Вошні було висунуто гіпотезу щодо підвищення коефіцієнту теплообміну між теплоізолюваною поверхнею і робочим тілом через наближення полум'я при згорянні до стінки камери. Отже, тепловий потік в деталі не зменшується, а, навпаки, збільшується [4, 7]. На цій підставі ним у [8] робиться висновок щодо безперспективності напрямку розвитку ДВЗ, пов'язаного з теплоізоляцією КЗ. Але про некоректність такого узагальнення свідчать вже роботи самого Г. Вошні [4, 9], в яких з приведених графіків видно, що економічність двигуна з теплоізолюваними поршнями є нижчою за економічність традиційного не в усьому діапазоні товщин шару покриття та навантажень двигуна.

Додатково це підтверджується наведеними вище та іншими численним випадками покращення показників двигунів через теплоізоляцію, наприклад, зафіксованими у публікаціях [10-12]. Більш того, відомими є технології нанесення покриття на деталі КЗ, що випускаються серійно і з безсумнівним позитивним ефектом. Так, електродугова наплавка заліза на чавунні гільзи двигунів BMW товщиною 0,3 мм підвищує їх економічність [13]. Плазменне напилення на поверхню гільзи за технологією фірми Sulzer Metco комплексно поліпшує витрати масла та палива двигунами [14].

Відмінність ефекту від застосування теплоізоляції на різних режимах роботи одного двигуна зафіксована не лише у [9]. Так, для середньообертового дизеля ЧН24/36 з чавунними поршнями, на поверхні КЗ яких плазменним методом було нанесено покриття оксиду алюмінію товщиною 0,3 мм, було отримано покращення питомої ефективної витрати палива до 15 г/(кВт·год) на режимі холостого ходу та 3 г/(кВт·год) – при номінальному навантаженні. При високих частотах обертання КВ було зафіксовано негативний ефект [15, с. 119-124].

Дослідниками також відзначається зміна впливу покриття на економічність від негативного до позитивного при зменшенні кута випередження вприскування палива [15, с. 123]. Звичайно, аналогічне явище можна встановити і при зміні теплофізичних властивостей теплоізоляції [16].

Таким чином, можна стверджувати, що покращення чи погіршення показників ДВЗ при застосуванні теплоізолюючого покриття зумовлюється конструктивними відмінностями деталей із покриттями, особливостями, що пов'язані із складом теплоізоляції, організацією робочого процесу та режимними факторами.

Додатково розуміння присутніх ефектів ускладнюються можливістю фізико-хімічного впливу матеріалу покриття на згоряння [15, с.119; 17-19] та залежністю теплопровідності пористої кераміки від тиску газового середовища [15, с.116]. Ці фактори можуть викликати відмінності результатів для різних двигунів та режимів навіть при досягненні збігу теплових граничних умов.

Сам термічний вплив на робочий процес дизелів з об'ємно-плівковим та плівковим сумішоутворенням з боку ЧДТ базується на двох процесах, відносно незалежних один від одного. Першим є теплообмін деталей із

робочим тілом, що впливає на наповнення, процеси передполум'яної підготовки, якості пристінного згоряння та теплові втрати [20]. Другим – теплообмін із паливною плівкою, що утворюється на теплоізоляційних поверхнях, закон випаровування якої може істотно відрізнятись від відповідного у традиційній конструкції [21]. Звідси, опосередковано через два вказані процеси, вплив режимних факторів на витрату палива має описуватись різними залежностями, що ускладнює виявлення загальних тенденцій.

Існує методика математичного моделювання робочого процесу дизеля з ЧДТ [22], яка дозволяє враховувати тільки теплові втрати, зміну наповнення та швидкості згоряння. Моделювання тут здійснювалось для номінального ( $N_e = 100$  кВт;  $n = 2000$  хв<sup>-1</sup>) та часткового ( $N_e = 40$  кВт;  $n = 1000$  хв<sup>-1</sup>) режимів роботи двигуна 4ЧН12/14. Для часткового режиму зниження питомої витрати палива складало 3 г/(кВт·год), для номінального воно не зафіксовано. Відмінність пояснюється підвищенням коливання температури теплоізоляційної стінки, викликаним повільнішою зміною параметрів робочого тіла на частковому режимі.

Суттєве спрощення аналізу є можливим для двигунів із зовнішнім сумішоутворенням. Оскільки паливна плівка на стінці їх КЗ відсутня, то ефект, викликаний теплоізоляцією у них зведеться до впливу на першу групу явищ.

На цій основі **метою роботи** виступає встановлення якісних залежностей впливу ЧДТ на економічність двигуна з зовнішнім сумішоутворенням від режиму його роботи.

**Дослідження та його результати.** Для проведення аналізу було використано результати випробовувань бензинового двигуна 4Ч7,2/6,7 (МеМЗ-245).

До програми випробовувань входила робота двигуна на двох навантажувальних характеристиках при частоті 1500 і 3000 хв<sup>-1</sup> та на зовнішній швидкісній при варіюванні частоти обертання колінчастого вала (КВ) в діапазоні від 1500 до 5500 хв<sup>-1</sup>. При цьому, застосовувались комплекти поршнів штатної конструкції та поршнів, модифікованих за допомогою технології гальваноплазмової обробки, розробленої в НТУ «ХПІ». Утворений на вогняній поверхні поршнів шар корунду ( $Al_2O_3$ ) становив 0,2 мм.

Залежність різниці між питомими витратами палива  $\Delta g_e$  за наявності та відсутності покриття від годинної витрати палива при незмінній частоті обертання КВ побудована на рис., а. Тут годинна витрата палива виступає критерієм навантаження двигуна. Видно, що для двох наведених характеристик підвищення впливу ЧДТ на економічність відбувається при підвищенні вказаної витрати палива.

Рис., б, засвідчує, що незважаючи на підвищення витрати палива при збільшенні частоти обертання КВ  $n$ , ефект від застосування покриття зменшується. З цього можна заключити, що при варіюванні лише частотою обертання КВ, ефект також буде меншим при більших значеннях останньої.

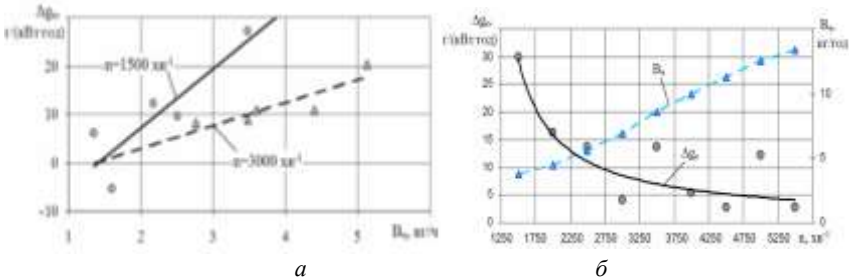


Рис. – Зменшення питомої ефективної витрати палива  $D_{ge}$  двигуна 4C7,2/6,7 при введенні корундового покриття донця поршня за навантажувальними *a* та зовнішньою швидкісною *б* характеристиками

**Висновки.** Таким чином на основі експериментальних даних для бензинового двигуна 4C7,2/6,7 нами встановлено, що зменшення питомої витрати палива від впливу частково-динамічної теплоізоляції відбувається зі зменшенням частоти обертання КВ та підвищенням навантаження.

Відповідно максимальний ефект для розглянутого двигуна було досягнуто на зовнішній швидкісній характеристиці при мінімальній частоті обертання КВ

**Подальший напрямок робіт** пов'язаний із дослідженням впливу частково-динамічної теплоізоляції на випаровування паливної плівки зі стінки камери згоряння дизелів, впливу на цей процес режимних та інших факторів, а також розробкою математичної моделі, що дозволить прогнозувати витрату палива двигуном з теплоізоляцією поршнів.

**Список літератури:** 1. Шпаковський В. В. Науково-технічні основи поліпшення показників ДВЗ застосуванням поршнів з корундовим шаром : автореф. дис. докт. техн. наук. : спец. 05.05.03 «Двигуни та енергетичні установки» / Шпаковський Володимир Васильович. – Харків, 2010. – 37 с. 2. Чепиль В. С. Исследование влияния термоизолирующего покрытия доньшка камеры сгорания в поршне на параметры рабочего процесса и тепловое состояние двигателя Д20 / В. С. Чепиль, Я. И. Гордиенко // Двигатели внутреннего сгорания. – 1970. – Вып. 10. – С. 46-52. 3. 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. 4. Woschni G. Experimental investigation of the heat transfer in internal combustion engines with insulated combustion chamber walls / G. Woschni // Heat and mass transfer in gasoline and diesel engines. – 1987. – 13 pp. 5. Sperling F. Der Keramikmotor – Utopie Oder Wirklichkeit? / F. Sperling // Keramische Zeitschrift. – 1988. – 40, №4. – S. 248-250. 6. Linke H. Keramik im Motorenbau – falscher Weg? / H. Linke // Automobile Revue. – 1988. – 83, №27. – 29 s. 7. Woschni G. Heat insulation of combustion chamber walls – a measure to decrease the fuel consumption of I.C. engines / Woschni G., Spidler W., Kolesa K. // SAE Technical Paper Series. – 1987. – №870339. – 11 pp. 8. Woschni G. Are ceramics really the answer to tomorrow's engines? / G. Woschni // Foundrytrade Journal International. – 1988. – 11, №1. – 5 pp. 9. Einfluss von brennraumisolierungen auf den kraftstoff verbauch und die wärmestobei oilselmotoren / Gerhard Woschni, Konrad Kolesa, Franz Bergbauer, Karl Huber // MTZ: Motortechn. – 1988. – 49, №7-8. – S. 281-285. 10. 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. **11.** Kolesa K. Einfluss hoher Wandtemperaturen auf den Wärmeübergang dirintenspizender Dieselmotoren / Konrad Kolesa. Diss. Dr. Ing. – Fakultät für Maschinenwesen der Technische Universität München. – München, 1987. – 723 s. **12.** Morel T. Heat transfer experiments in a insulated diesel / Morel T., Wahiduz Z. S., Fort E. F. // SAE Technical Paper Series. – 1988. – №880186. – P. 61-81. **13.** Ernst P. Покрытие SUMEBore снижает вредные выбросы двигателей. Emissionsreduktion / P. Ernst // Sulzer Technical Review. – 2009. – 91, №4. – S. 11-13. **14.** Kleine Vierzylinderflott, sparsam und leistungsstark // VDI-Nachrichten. – 2011. – №44. – S. 11. **15.** Костин А. К. Теплонапряженность двигателей внутреннего сгорания / Костин А. К., Ларионов В. В., Михайлов В.И.. – Л. : Машиностроение, 1979. – 222 с. **16.** Влияние керамической теплоизоляции поршня на размах температурной волны / В. В. Шпаковский, А. П. Марченко, О. Ю. Линьков, В. В. Пылев // Авиационно-космическая техника и технология. – 2009. – № 8(65). – С. 111-114. **17.** Теплоизоляционное и каталитическое воздействие керамических материалов на рабочий процесс дизеля / И. П. Васильев, В. А. Звонов, П. Н. Гавриленко, А. И. Шалай // Двигателестроение. – 1990. – №9. – С. 3-5. **18.** Васильев И. П. Улучшение показателей дизеля применением турбулизаторов в камере сгорания с каталитическим слоем / Васильев И. П., Звонов В. А., Гавриленко П. Н. // Двигателестроение. – 1990. – №11. – С. 47-49. **19.** Марченко А. П. Влияние корундового слоя на рабочих поверхностях поршней на процесс сгорания в ДВС / А. П. Марченко, В. В. Шпаковский // Двигатели внутреннего сгорания. – 2011. – №2. – С. 24-28. **20.** Марченко А. П. Экспериментальные исследования рабочего процесса в камере сгорания ДВС с теплоизолированным поршнем / А. П. Марченко, В. В. Шпаковский // Двигатели внутреннего сгорания. – 2010. – №2. – С. 49-53. **21.** Марченко А. П. Удосконалення математичної моделі випаровування паливної плівки зі стінки камери згоряння дизеля / Марченко А. П., Пильов В. В., Сукачев І. І. // Вісник НТУ «ХПІ»: «Математичне моделювання в техніці та технологіях». – № 42. – 2011. – С. 133-143. **22.** Оценка влияния режимных факторов на параметры температурного высокочастотного колебания в поверхностном корундовом слое поршня / Марченко А. П., Шпаковский В. В., Сукачев И. И. // Двигатели внутреннего сгорания. – 2010. – №1. – С. 65-69.

*Надійшла до редколегії 26.02.2013*

УДК 621.43.016.4: 536.434

**Підвищення економічності бензинового двигуна на різних режимах роботи при застосуванні частково-динамічної теплоізоляції поршнів / А. П. Марченко, В. В. Шпаковский, В. В. Пильов // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Транспортне машинобудування. – Х. : НТУ «ХПІ», 2013. – № 32 (1005). – С. 106–110. – Бібліогр.: 22 назв.**

В статье проанализированы результаты испытаний бензинового двигателя с поршнями, поверхности которых были модифицированы с помощью гальвано-плазменной технологии. Установлено усиление позитивного влияния частично-динамической теплоизоляции на удельный расход топлива при уменьшении частоты вращения коленчатого вала и повышении нагрузки.

**Ключевые слова:** двигатель внутреннего сгорания, низкотеплопроводное покрытие, эффект частично-динамической теплоизоляции, режимы работы, экспериментальное исследование, экономичность

Results of gasoline engine test are analyzed in a paper. The cases of conventional pistons and ones with electrodeposited coatings are compared. Amplification of positive effect of partially-dynamic heat insulation on specific fuel consumption at engine speed reducing and at its load raising is ascertained.

**Keywords:** internal combustion engine, coating with low heat conductivity, partially-dynamic heat insulation effect, operating points, experimental investigation, fuel consumption