

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

Шпаковський Володимир Васильович

УДК 621.436.001-52

НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ ОСНОВИ ПОЛІПШЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ДВЗ
ЗАСТОСУВАННЯМ ПОРШНІВ З КОРУНДОВИМ ШАРОМ

Спеціальність 05.05.03 – двигуни та енергетичні установки

Автореферат на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Харків – 2010

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі «Двигуни внутрішнього згоряння» Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки України.

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор
Марченко Андрій Петрович,
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
проректор з наукової роботи, завідувач
кафедри двигунів внутрішнього згоряння

Офіційні опоненти доктор технічних наук, професор
Єроценков Станіслав Аркадійович,
Українська державна академія залізничного транспорту,
м. Харків, завідувач кафедри
теплотехніки та теплових двигунів

доктор технічних наук, професор
Матейчик Василь Петрович,
Національний транспортний університет,
м. Київ, в. о. завідувача кафедри
екології та безпеки життєдіяльності

доктор технічних наук, професор
Долматов Анатолій Іванович,
Національний аерокосмічний університет
ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»,
м. Харків, завідувач кафедри
технології виробництва авіаційних двигунів

Захист відбудеться 01.07.2010 р. о 13⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.13 у Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» за адресою:

61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут».

Автореферат розісланий 30.05. 2010 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Осетров О.О.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Однією з проблем в Україні є забезпечення економії природних ресурсів при збільшенні виробництва енергії. Основну кількість механічної енергії виробляють двигуни внутрішнього згорання (ДВЗ), які у своїй більшості споживають, паливо нафтового походження. Різке загострення світових проблем через вичерпання природних ресурсів та забруднення довкілля, потребує удосконалення конструкції двигунів у напрямках підвищення їх економічності, зменшення шкідливих викидів, підвищення питомої потужності та збільшення ресурсу. Одним з напрямків поліпшення показників паливної економічності ДВЗ є створення двигунів з підвищеним тепловим захистом камери згорання (КЗ). Спроби створення адіабатних двигунів зазнали невдачі. Часткова теплоізоляція КЗ із низькотеплопровідними накладками привела до ускладнення конструкції деталей КЗ і погіршенню ефективності роботи двигунів, а навпаки нанесення теплозахисних покриттів на робочу поверхню поршня в ряді випадків показало їхню високу ефективність. Знизилася питома витрата палива, покращилися умови запуску двигуна, знизилася: втрати теплоти в навколишнє середовище, вимоги до сорту палива, жорсткість роботи двигуна, температура поршня, підвищився індикаторний ККД. Однак теплоізолюючі покриття не знайшли практичного застосування у ДВЗ через малу адгезійну міцність і низку термостійкість.

Більш ефективним є створення на поверхні поршнів з алюмінієвих сплавів оксидного шару, оскільки забезпечує надійний тепловий захист, захист від зношування циліндричної частини поршнів, від поломки кільцевих перемичок тощо. Разом з тим, в теорії і практиці двигунобудування недостатньо розроблені науково-технічні основи поліпшення економічності, ресурсної безвідмовності ДВЗ шляхом застосування на поверхні поршнів з алюмінієвих сплавів оксидного (корундового) шару, створення ефективною і надійною теплоізоляції КЗ. Тому розробка науково-технічних основ поліпшення показників ДВЗ застосуванням поршнів з корундовим шаром є доцільною і актуальною та визначила напрямок дисертаційного дослідження.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано на кафедрі «Двигуни внутрішнього згорання» НТУ «ХП» відповідно Державній програмі розвитку двигунобудування України (Постанова КМУ від 16.01.1996 р. № 95).

Здобувач, як виконавець, проводив дослідження:

- по держбюджетної тематиці МОН України: «Фундаментальні дослідження по забезпеченню фізичної та параметричної надійності перспективних вітчизняних автотранспортних двигунів внутрішнього згорання» (ДР № 0103U0011499); «Фундаментальні дослідження фізико-хімічних характеристик процесу згорання з метою комплексного поліпшення показників паливної економічності і токсичності відпрацьованих газів автотракторних двигунів» (ДР № 0106U001476); «Розробка наукових основ комплексного забезпечення перспективного рівня теплонапруженості та екологізації високофорсованих транспортних двигунів внутрішнього згорання» (ДР № 0109U0023856);

- по господарчим науково-дослідним темам з Головним управлінням локомотивного господарства (м. Київ): «Розроблення технологічних засобів підвищення ресурсу та рівня експлуатаційних характеристик дизелів за рахунок впровадження поршнів з керамічним шаром та технології його виготовлення», «Дослідження впливу поршнів з корундовим шаром на працездатність дизелю, витрати палива і екологічні показники тепловозу ЧМЕЗ-6830 при експлуатації та розробка рекомендацій з їх впровадження».

- по держзамовленню «Розроблення гальваноплазменої технології обробки поршнів для поліпшення екологічних показників автотракторних дизелів» (договір ДЗ/334-2007 між МОН України і НТУ «ХП»).

Мета і завдання дослідження - розробка науково-практичних основ підвищення рівня технічної досконалості двигунів, включаючи експлуатаційні характеристики, економічність роботи, зменшення забруднення довкілля, підвищення ресурсу за рахунок теплоізоляції поршнів корундовим поверхневим шаром.

Для досягнення мети були поставлені завдання:

1. Виконати аналіз сучасного стану та шляхів вирішення проблеми підвищення ресурсу інших показників надійності роботи двигунів.

2. Удосконалити процес утворення керамічного поверхневого шару на деталях КЗ з алюмінієвих сплавів з одержанням шару корундової кераміки.

3. Установити закономірності впливу поверхневого корундового шару поршня на параметри робочого процесу і ресурс двигунів.

4. Розробити математичну модель для дослідження впливу часткової динамічної теплоізоляції поршнів поверхневим корундовим шаром малої товщини на показники робочого процесу двигунів.

5. Розробити методику визначення раціональної товщини керамічного корундового шару, що забезпечує підвищення техніко-економічних показників двигунів.

6. Провести розрахункові й експериментальні дослідження, узагальнити результати наукових досліджень поліпшення показників ДВЗ застосуванням поршнів з корундовим шаром.

Об'єкт дослідження: процеси динамічної теплоізоляції та зносу алюмінієвих поршнів ДВЗ.

Предмет дослідження: вплив поверхневого корундового шару поршня, що створює ефект часткової динамічної теплоізоляції, на ресурс, надійність і робочий процес ДВЗ.

Методи дослідження – всі теоретичні та експериментальні дослідження базуються на фундаментальних положеннях теорії ДВЗ. Визначення впливу товщини корундового шару поверхні поршня на показники робочого процесу двигунів та визначення високочастотного коливання температури в низькотеплопровідному поверхневому шарі матеріалу поршня проводилися методом математичного моделювання. Розробка технології гальваноплазменої обробки (ГПО) поршнів проводилась експериментально, шляхом вибору найбільш раціональних режимів. Визначення впливу малої товщини корундового шару поршня на процес згоряння палива в циліндрах дизеля проводилося методом моторних досліджень двигунів. Оцінка працездатності поршнів з корундовим шаром та визначення техніко-економічних показни-

ків двигунів з дослідними поршнями проводилося методами ресурсних експлуатаційних та промислових реостатних випробувань.

Наукова новизна одержаних результатів. В роботі вирішена наукова проблема, яка пов'язана з підвищенням ефективності ДВЗ. При цьому:

1. Вперше обґрунтовано і реалізовано підвищення технічного рівня ДВЗ шляхом застосування поршнів з поверхневим корундовим шаром малої товщини.

2. Вперше виявлено та теоретично обґрунтовано ефект позитивного впливу часткової динамічної теплоізоляції поршнів поверхневим корундовим шаром малої товщини на процес згоряння палива в циліндрах дизеля, показники робочого процесу, паливну економічність; виявлено ефект підвищення ресурсу ДВЗ.

3. Вперше здійснено теоретичне визначення раціональної товщини корундового шару поршнів з алюмінієвих сплавів, що забезпечує підвищення техніко-економічних показників ДВЗ та отримано експериментальні і експлуатаційні підтвердження поліпшення показників паливної економічності та ресурсу двигунів з поршнями з корундовим шаром.

4. Удосконалено метод мікродугового оксидування (МДО) в частині значного збільшення щільності струму оксидування без зриву мікроплазменого процесу в дуговий і реалізовано метод ГПО, який відрізняється від відомого раніше швидкістю процесу і одержанням керамічного «корундового» шару з високою адгезією до основного металу, з високою твердістю, зносостійкістю, низькою теплопровідністю.

Практичне значення одержаних результатів. Для двигунобудівної галузі практичне значення полягає у використанні: прогресивної технології гальваноплазменої обробки поршнів з алюмінієвих сплавів з одержанням шару корундової кераміки для поліпшення техніко-економічних показників ДВЗ та підвищенню ресурсу двигунів; установки, які реалізують технологію ГПО; методики визначення раціональної товщини керамічного корундового шару, що забезпечує підвищення ефективних параметрів двигунів з поршнями з корундовим шаром; програми і методики експлуатаційних випробувань двигунів тепловозів, оснащених поршнями з корундовим шаром та встановлених на тепловозах ЧМЕ-3; методики проведення реостатних досліджень тепловозів ЧМЕ-3 при проведенні ПР-3.

Результати розробок впроваджено: в Технічних умовах ТУ У 3.34.03972764.134-99 «Поршні з корундовим шаром для двигунів внутрішнього згорання», які затверджено в Україні; в тепловозному депо Харків-Сортувальний для ремонту тепловозів ЧМЕ-3; в навчальному процесі для студентів спеціальності 090210 – двигуни внутрішнього згорання кафедри ДВЗ НТУ «ХП».

Результати дисертаційного дослідження рекомендовано для використання в спеціалізованих КБ по двигунобудуванню, навчальному процесі ВНЗ, практиці наукових досліджень НДІ і спеціалізованих кафедр ВНЗ, підприємствах, що виготовляють і ремонтують ДВЗ різного призначення.

Особистий внесок здобувача. Всі наукові положення і результати, наведені в дисертації, отримано особисто здобувачем, який брав безпосередню участь в усіх етапах роботи. Серед них:

– встановлено працездатність поршнів з корундовим шаром, утвореним ГПО на поверхні поршнів з алюмінієвих сплавів;

– встановлено значне зниження зносу ЦПГ при роботі двигунів з поршнями з корундовим шаром на циліндричній частині поршнів;

– визначений ефект впливу малої товщини корундового шару поршнів з алюмінієвих сплавів, на показники паливної економічності та ресурс тепловозних та автотракторних двигунів;

– удосконалено метод мікродугового оксидування (МДО) в частині значного збільшення щільності струму оксидування без зриву мікроплазменого процесу в дуговий і реалізовано метод ГПО, який відрізняється від відомого раніше швидкістю процесу і одержанням керамічного « корундового» шару з високою адгезією до основного металу;

– розроблені експериментальна та напівпромислова установки і прогресивна технологія ГПО поршнів з алюмінієвих сплавів з одержанням шару корундової кераміки;

– розроблено теоретичне обґрунтування позитивного ефекту впливу малої товщини теплозахисного корундового шару, який утворюється при ГПО денця поршнів з алюмінієвих сплавів, на показники робочого процесу та поліпшення показників автотракторних двигунів;

– участь у моторних дослідженнях двигуна СМД-23 з серійними та поршнями з корундовим шаром;

– участь у проведенні реостатних випробувань двигунів К6S310DR з серійними та поршнями з корундовим шаром тепловозів ЧМЕ-3;

– участь у стендових випробуваннях тракторного дизеля Д240Л; двигуна Д65НТ1; двигунів МеМз-245 з поршнями з корундовим шаром.

Апробація результатів дисертації. Результати досліджень обговорені і позитивно оцінені на: - науково-технічній конференції країн-членів СЭВ «Сучасне устаткування й технологічні процеси для відновлення й зміцнення деталей машин» «Ремдеталь - 88» (м. П'ятигорськ, 1988 р.); - науково-технічних конференціях кафедр УКРГАЖТ й фахівців залізничного транспорту (м. Харків, 1991-1993 рр., 1995 р.); - Sixth exhibition of inventions and new products. EAST-WEST EURO INTELLECT National Congress Center-Sofia, (м. Софія, 1998 р); - міжнародній конференції «Технології ремонту машин і механізмів» «РЕМОНТ-98»(м. Київ, 1998 р.); - VI спеціалізованої виставки «Автомобіль» (м. Харків, 2001 р.); - XII Міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні технології: наука, техніка, освіта, здоров'я» (м. Харків, 2004 р.); - X, XIII та XIV міжнародних Конгресах двигунобудівників (м. Рибаче, 2005, 2008, 2009 рр.); - 70 міжнародній науково-технічній конференції Української державної академії залізничного транспорту (м. Харків, 2008 р.); - XI Міжнародній науково-практичній конференції «Фундаментальні й прикладні проблеми вдосконалювання поршневих двигунів» (м. Володимир, Росія, 2008 р.);

Експонати з корундовим шаром були представлені на 68 науково-практичних виставках (19 – за кордоном).

Публікації. Основні результати дисертації опубліковані в 24 публікаціях; серед них 19 у наукових фахових виданнях ВАК України; 1 патент США.

Обсяг та структура дисертації. Дисертаційна робота складається з вступу, 6 розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг дисертації

складається з 425 сторінок, з них 198 ілюстрацій за текстом, 26 таблиць за текстом, додатків на 125 сторінках, 203 найменувань використаних літературних джерел на 23 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ

У вступі розкрито сутність і стан науково-технічної проблеми. Обґрунтована актуальність розглянутої теми, сформульована мета, основні завдання дослідження та шляхи їхнього вирішення.

У першому розділі виконано аналіз вітчизняного та закордонного досвіду підвищення ефективності роботи циліндропоршневої групи ДВЗ шляхом застосування зносостійких та теплостійких матеріалів. Наведені основні етапи розвитку цієї проблеми, обґрунтовано застосування зносостійких покриттів для теплоізоляції камери згоряння.

Одним зі способів зниження теплового впливу на деталі КЗ є нанесення на їх поверхні теплостійких і зносостійких покриттів. Але ці рішення не знайшли широкого використання в промисловості або через ускладнення конструкції поршня, або через відшаровування покриття від його вогневої поверхні. Крім того, накладна кераміка й напилений керамічний поверхневий шар не витримують тривалих динамічних навантажень.

На деталях з алюмінієвих сплавів одержують плавлені або спечені покриття способами мікродугового або дугового оксидування. Однак дослідження працездатності цих покриттів на поршнях ДВЗ недостатні.

У результаті вивчення попередніх досліджень встановлено, що найкращими матеріалами для теплоізоляції виявилися Al_2O_3 та ZrO_2 . Застосування теплоізолюючих жарових накладок, кілець, екранів для КЗ двигунів приводить до зниження температурного рівня поршня, що збільшує його ресурс. Однак їхнє використання ускладнює конструкцію поршня, збільшує його масу й зменшує його надійність. Учені Valland H., Wyspianski G.K., Wallace F.J., Као Т.К., Alekxander W.A., Cole A.C. and Tarabad M. (Великобританія) у результаті досліджень теплоізоляції КЗ довели, що для одержання найвигідніших термодинамічних показників робочий цикл двигуна повинен бути чисто адіабатним, тобто температура стінок КЗ повинна змінюватися слідом за зміною температури газу на протязі всього циклу. Зроблений загальний висновок: чисто адіабатний режим роботи двигуна не може бути досягнутий ні при якій реальній конструкції стінок КЗ. Значне збільшення коефіцієнту корисної дії (ККД), до 10%, може бути отримане при частковій тепловій ізоляції КЗ.

Однак, вчені Woschni G., Spindler W., Kolesa K. зробили висновок, що практично неможливо одержати зниження витрати палива шляхом теплоізоляції стінок КЗ у поршні. Теоретичне обґрунтування негативного ефекту застосування „адіабатної” теплоізоляції здійснене Шеховцовим А.Ф., Кавтарадзе Р.З., Grot K., Thiemann W., Woschni G., Spidler W., Kolesa K. та ін.

Нанесення теплостійких і зносостійких керамічних покриттів на деталі КЗ не ускладнює конструкції деталей і дозволяє: знизити ефективну витрату палива за рахунок більш повного згоряння й зменшення втрат теплоти, знизити викиди шкідливих речовин, значно зменшити нагар, поліпшити пускові якості і зменшити зношування деталей ЦПГ. В експериментальних дослідженнях Костіна А.К. показано, що ефективність зниження температури поршня більше в тих його зонах, де була більш

висока температура. Зі збільшенням товщини покриття до $0,2 \cdot 10^{-3}$ м ефективність зниження температури тіла поршня зростає, а збільшення товщини до $0,9 \cdot 10^{-3}$ м приводить до помітного зниження ефективності теплоізоляції. Встановлено, що зниження ефективної витрати палива в основному залежить від характеру процесу згоряння й, у меншій мірі, від втрат теплоти. Підвищення температури поршня з покриттям на $60-70^{\circ}\text{C}$ збільшує середню температуру газу за цикл, забезпечує плавне протікання передпламених процесів до запалення, скорочує період затримки запалення на 20-30%, знижує швидкість наростання тиску на 11-19% і максимальний тиск згоряння на 2,5-3,5%. Основний процес згоряння палива закінчується до моменту T_z , догорання закінчується раніше на 40° п.к.в. Це забезпечує підвищення індикаторного ККД. на 6-7% і зниження витрати палива від 4 до 16 г/(кВт·год). Аналогічні дані отримано рядом інших дослідників. Однак покриття не знайшли широкого застосування, тому що не витримували тривалих динамічних навантажень і відшаровувалися від вогневої поверхні.

Рішенням проблеми є застосування нетрадиційних матеріалів для теплоізоляції поверхні КЗ. Замість накладок і покриттів пропонується застосування керамічної теплоізоляції, одержуваної модифікацією поверхні деталей КЗ із алюмінієвих сплавів. До цього часу практично не проводилося математичного моделювання високочастотних коливань температури, не досліджувався вплив малої товщини керамічного шару на деталях КЗ на ефективність роботи ДВЗ, не вивчений вплив поршнів з керамічним шаром на ресурс і надійність ДВЗ, не сформульовані наукові положення й немає теоретичного обґрунтування ефективності роботи ДВЗ із МДО-покриттями, що створюють часткову динамічну теплоізоляцію.

Теплоізолюючі матеріали повинні мати низьку теплопровідність та високу теплостійкість. Такі властивості мають покриття з ZrO_2 і Al_2O_3 . Однак для поршнів з алюмінієвих сплавів досягнення високої адгезії основного матеріалу з теплоізолюючим можливо тільки для Al_2O_3 при МДО. В роботі обґрунтовано необхідність модернізації процесу МДО з метою одержання шару, в основному, корундової кераміки, з більш високими теплофізичними властивостями, високою адгезією, ізносостійкістю на поверхнях площею більше одного квадратного дециметра та за невеликий час обробки. Необхідно визначити працездатність корундового шару, встановити вплив товщини шару корундової кераміки на ефективність роботи ДВЗ й установити оптимальні значення товщини шару.

Проведення досліджень впливу розробленої теплоізоляції на ефективність роботи ДВЗ, розробка науково-технічних основ визначення раціональних параметрів теплоізоляції дасть змогу підвищити економічність роботи двигунів, зменшити забруднення доквілля, підвищити ресурс і надійність роботи двигунів. Для розв'язання рішення означеної проблеми складена схема наукових досліджень.

Другий розділ присвячений аналізу впливу товщини керамічного шару на поршнях на показники робочого процесу двигунів, представлено розроблену математичну модель нестационарного температурного стану низькотеплопровідного поверхнього шару, і наведені результати розрахунково-експериментальних досліджень впливу часткової динамічної теплоізоляції поршня на техніко-економічні показники ДВЗ.

Практично всі дослідники оцінку рівня теплоізоляції КЗ ведуть відносно граничного адіабатного стану, як такого, при якому між робочим тілом і стінками КЗ теплообмін відсутній. Показано, що на практиці відомі два основні варіанти конструктивного наближення до теоретичного „адіабатного” двигуна. Перший, заснований на використанні стінки КЗ як регенеративного теплового акумулятора, що сприймає теплоту від робочого тіла в процесі згоряння й повертає її в період наповнення циліндра. Однак це приводить до істотного підігріву свіжого заряду й, відповідно, зменшення коефіцієнта наповнення. Другий варіант – динамічна ізоляція КЗ, навпаки, заснований на максимальному зменшенні акумулюючої дії стінки з метою наближення її температури до температури робочого тіла. Така ізоляція для випадку граничного адіабатичного стану визначається величиною термічної інертності матеріалу $TT = \lambda r c \rightarrow 0$. Це означає, що реальне наближення до термічно безінерційних властивостей стінок КЗ припускає застосування матеріалів з мінімально можливим коефіцієнтом теплопровідності та приводить до росту амплітуди поверхневої температурної хвилі, частково знижує регенеративний теплоакумулюючий ефект стінок КЗ. У роботах Зельдовича Я. Б. показано, що запалювання поблизу нагрітої поверхні відбувається в момент, коли її температура стає вище критичної. Критична температура фазового переходу рідкого палива в пароподібний стан $T_{кр}$ становить $380-450^{\circ}\text{C}$. Коли температура поверхні КЗ значно перевищує цю температуру, різко інтенсифікується процес випаровування палива. Швидкість дифузії пари палива й кисню поблизу стінок відстає від швидкості випаровування палива, створюються перебагачені паливом зони. Це призводить до зниження максимальної швидкості тепловідведення й збільшенню витрати палива. У роботах Вирубова Д.Н., Чаромського А.Д., Рікардо Г.Р., Мейєра И.С. відзначено позитивний вплив гарячих поверхонь деталей КЗ на показники роботи дизеля, а також, що існують оптимальні значення температур деталей КЗ, які забезпечують одержання найвигіднішого для циклу робочого процесу. Необхідно мати таке сполучення температури поверхні й швидкості руху газового заряду уздовж стінки, при якому відбувалося б інтенсивне сумішоутворення у зоні біля стінки. Дослідженнями ряду вчених Pischinger A., Леонова О. В., Камзолова Е. П., Єрмакова В. Ф. доведено, що для більшості сучасних камер згоряння при роботі на дизельних паливах температура поверхонь КЗ повинна бути в межах $320-380^{\circ}\text{C}$. Забезпечити оптимальні температури можна зміною теплових опорів поверхонь деталей КЗ, шляхом варіювання товщини теплоізолюючого шару. При цьому зменшиться тепловий потік не тільки від газу до деталей КЗ, але й від деталей до свіжого заряду.

При наповненні циліндра свіжим зарядом тепловий потік від стінки КЗ направлено до робочого тіла. Доказано, що малість низькотеплопровідного поверхневого шару викликає зменшення його температури до рівня температури робочого тіла. Температура шару стає нижчою за температуру основного матеріалу поршня, коефіцієнт наповнення циліндра зростає.

Досліджено, що на такті стиску тепловий потік направлено від робочого тіла до стінки КЗ, температура покриття зростає до величин вищих за температуру основного матеріалу поршня. Тепловий потік від робочого тіла до поверхні КЗ зменшується.

Зростає температура робочого тіла та зменшується період затримки займання палива. Доля палива, що потрапила на стінку КЗ в поршні внаслідок підвищеної температури поверхні стінки випаровується більш ефективно.

Висока температура поверхні КЗ під час згоряння палива та розширення робочого тіла сприяє зменшенню теплового потоку в стінку поршня та, відповідно, зменшенню коефіцієнта відносних втрат теплоти в стінку. Сукупність вказаних нових ефектів сприяє покращенню індикаторних показників дизеля та його екологічності.

Важливим фактором досягнення вказаних ефектів є висока частота обертання колінчастого вала, що є притаманним дизелям автотракторного типу. У ДВЗ є припустимим застосування моделі теплопровідності, заснованої на припущенні про нескінченно велику швидкість поширення теплоти, коли шукане температурне поле встановлюють на основі вирішення рівняння теплопровідності Фур'є.

Для аналізу високочастотного коливання температури в поверхневому шарі поршня використовується одновимірний варіант моделі (1):

$$\rho(x)c \frac{\partial T(x, \tau)}{\partial \tau} = \partial \left(\lambda \frac{\partial T(x, \tau)}{\partial x} \right) / \partial x. \quad (1)$$

Стінка поршня має товщину l . Теплова взаємодія з нею робочого тіла характеризується складноперіодичною високочастотною зміною температури газу $T_2(\tau)$ й коефіцієнта тепловіддачі $\alpha_2(\tau)$. Тепловідведення від протилежної стінки відбувається в масло й характеризується параметрами T_M, α_M .

Запропоновано математичне формулювання граничних умов (ГУ) третього роду для складноперіодичних високочастотних змін $T_2(\tau), \alpha_2(\tau)$ і високочастотного поверхневого температурного поля $T(0, \tau)$ здійснювати у наступному вигляді: з боку робочого тіла КЗ

$$\rho(0)c \frac{\partial T(0, \tau)}{\partial \tau} = \partial \left(\lambda \frac{\partial T(0, \tau)}{\partial x} + \alpha_2(\tau) (T_2(\tau) - T(0, \tau)) \right) / \partial x, \quad (2)$$

з боку масляного охолодження стінки

$$\rho(l)c \frac{\partial T(l, \tau)}{\partial \tau} = \partial \left(\alpha_M (T_M - T(l, \tau)) - \lambda \frac{\partial T(l, \tau)}{\partial x} \right) / \partial x. \quad (3)$$

Модель нестационарної теплопровідності доповнюється початковою умовою

$$T(x, 0) = T_0(x) |_{x \in [0; l]} \quad (4)$$

Використання нової моделі (2-3) рекомендується для розрахунків нестационарного високочастотного температурного стану стінки КЗ ДВЗ для матеріалів з термічною інертністю $TT = < 0,5 \cdot 10^8 \text{ кг}^2 / (\text{K}^2 \text{c}^5)$ (термічна інертність TT для АЛ25 - $3,9 \cdot 10^8 \text{ кг}^2 / (\text{K}^2 \text{c}^5)$, цирконію - $3,5 \cdot 10^6 \text{ кг} \cdot \text{м} / \text{сек}^4 \text{K}$, Al_2O_3 - $7,63 \cdot 10^6 \text{ кг}^2 / (\text{K}^2 \text{c}^5)$).

Моделювання нестационарного температурного стану низькотеплопровідного поверхневого шару КЗ поршня з метою визначення миттєвої температури його поверхні здійснено за явною схемою метода кінцевих різниць. Для розрахунку температурного стану поверхневого шару КЗ поршня прийнято: товщина стінки $l = 16,3 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; крок розрахункової сітки по просторовій координаті $(\Delta x)_{x \leq 1 \cdot 10^{-6}} = 50 \cdot 10^{-6}$

м й $\Delta x|_{x>1} \cdot 10^{-6} = 100 \cdot 10^{-6}$ м). Граничні умови третього роду $T_2(\tau)$, $\alpha_2(\tau)$ з боку робочого тіла КЗ відповідають роботі двигуна 6ЧН13/11,5 на режимі $N_e = 130$ кВт, $n = 2100$ хв⁻¹. Значення $T_m = 363$ К, $\alpha_m = 2100$ Вт/(м²К); початкові умови $T_0(x)|_{x \in [0; l]} = 523$ К.

Теплофізичні характеристики сплаву АЛ25:

$$\lambda = 137,828 - 1,240 \cdot 10^{-2}(T - 273) + 1,285 \cdot 10^{-4}(T - 273)^2, \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)};$$

$$c = 815,790 + 0,143(T - 273) + 7,804 \cdot 10^{-4}(T - 273)^2, \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}. \rho = 2720 \text{ кг/м}^3.$$

Для теплозахисного шару прийнято: $\lambda = 1\text{--}5$ Вт/(м·К), $c = 837$ Дж/(кг·К), $\rho = 3200$ кг/м³. Схема взаємодії стінки теплоізолюваного поршня з робочим тілом й охолоджуючим маслом наведена на рис. 1.

Для перевірки адекватності розрахункової моделі й порівняння експериментальних результатів дослідження з розрахунками вчених технічного університету Мюнхена нами був зроблений розрахунок температурних коливань на теплоізолюваній поверхні з параметрами: $\lambda = 2$ Вт/(м·К) і $\delta = 5 \cdot 10^{-3}$ м. Мінімальне значення амплітуди температури рівнялося 658 °С, максимальне – 728 °С, середньоциклове значення температури – 688 °С, що досить близько збігається з розрахунками німецьких учених.

Подальші розрахунки виконані для товщин шару δ від 0 до $0,35 \cdot 10^{-3}$ м. Досліджена залежність характеристик температурного стану поршня: максимальна, мінімальна й середня температури поверхні КЗ для різних значень теплопровідності λ й товщини теплозахисного шару δ . Установлено, що наявність теплозахисного шару малої товщини забезпечує істотне зростання максимальної миттєвої температури поверхні КЗ. Цей ефект теоретично сприяє поліпшенню робочого процесу ДВЗ. Разом з тим теплозахисний шар викликає ефект зниження мінімальної миттєвої температури стінки й поліпшення процесу наповнення циліндра свіжим зарядом. Обидва ефекти для розглянутих значень λ мають місце до товщини шару $\delta = (0,12\text{--}0,25) \cdot 10^{-3}$ м. Амплітуда температурної хвилі в 7 разів більша, ніж для традиційної конструкції зі сплаву АЛ25. Таким чином, отримано ефект часткової динамічної теплоізоляції КЗ (рис. 2).

При товщині теплоізоляції $(0,12\text{--}0,16) \cdot 10^{-3}$ м ріст максимальних значень температури сповільнюється, а мінімальні значення стають найменшими для всіх зазначених значень коефіцієнтів теплопровідності. При цьому визначений діапазон значень δ є шуканим рішенням.

Розрахунки по визначенню впливу коефіцієнта теплопровідності на величину розмаху температурної хвилі показали, що зі зменшенням λ максимальні значення температур ростуть, але після раціонального значення δ зростає й мінімальне значення температури.

Максимальні розрахункові значення температури для $\lambda = 1$ Вт/(м·К) і $\lambda = 2$ Вт/(м·К) перевищують 400 °С у означеному інтервалі δ . Для коефіцієнта теплопровідності $\lambda = 2,85$ Вт/(м·К) максимальне значення температури в цьому інтервалі перебуває в межах оптимальної температури поверхонь КЗ 320–380 °С. Подальше збільшення товщини теплоізоляції призводить до росту як максимальних так і мінімальних значень температури. Ці розрахунки добре погоджуються з даними, наве-

деними Кавтарадзе Р.З. Для німоніка коливання становлять 40 К при середній температурі стінки 630 °С, для нітриду кремнію – 60 К при 780 °С і для окису цирконію – 180 К при 830 °С.

Зроблено оцінку температурного стану поршня з поверхневим корундовим шаром ($\lambda = 2,85$ Вт/(м·К) (рис. 3).

Початкова температура стінки приймалася $t_0(x) \Big|_{x \in [0, l]} = 250$ °С. Показано, що оснащення теплосприймаючої високотеплопровідної поверхні КЗ низькотеплопровідним шаром малої товщини дозволяє, при істотному рості максимальної миттєвої температури цієї поверхні, одержати ефект зниження мінімальної миттєвої температури. Максимальний ефект досягнуто коли мінімальна температура знизилася на 13 К, з 319°С до 306°С. При цьому має місце підвищення середньоциклової температури поверхні на 20 К, з 319 °С до 339 °С. При товщинах корундового шару $(0,12-0,16) \cdot 10^{-3}$ м зменшується швидкість росту максимальної миттєвої температури циклу й припиняється зниження мінімальної, тому ці значення товщини шару теплоізоляції можна вважати кращими для теплоізоляції поршня.

В роботі проаналізовано високочастотні температурні хвилі $T(x, \tau)$ в традиційній конструкції денця поршня та в теплозахисному шарі поверхні поршня. Товщина теплоізолюючого шару δ варіювалася в діапазоні від 0 до $0,32 \cdot 10^{-3}$ м. Розрахункові дослідження із впливу товщини корундового шару на величину амплітуди температурних коливань на вогневій поверхні поршня показали, що для поршня без низькотеплопровідного шару $\delta=0$, на поверхні матеріалу відбувається коливання температури протягом циклу роботи дизеля, що дорівнює 11,8 К. При цьому мінімальне значення температури 313 °С відповідає 290, а максимальне 326 °С – 390 гр. п. к. в. При товщині $\delta = 0,04 \cdot 10^{-3}$ м зниження температурної хвилі склало - 2,3 К, а зростання 22 К. Зі збільшенням товщини шару більше $0,04 \cdot 10^{-3}$ м відбувається різке зростання температурної хвилі, фазове зрушення амплітуди відбувається убік більших кутів п. к. в. З ростом товщини корундового шару до $\delta = 0,32 \cdot 10^{-3}$ м, розмах коливання температурної хвилі зростає на 70 К. (рис.4).

При товщинах корундового шару $(0,12-0,16) \cdot 10^{-3}$ м температура поверхні стає нижче температури поверхні серійного поршня на 7,5 К при $\varphi = 284$ гр. п. к. в. Найбільше перевищення температури на 62 К спостерігається при $\varphi = 384$ гр. п. к. в. Зі збільшенням товщини шару понад $0,25 \cdot 10^{-3}$ м мінімальне значення температурної хвилі перевищує рівень температури поверхні неізолюваного поршня. Таким чином, при проведенні дисертаційного дослідження виявлено, що для товщин корундового шару $(0,12-0,16) \cdot 10^{-3}$ м відбувається найбільше зниження мінімального значення температурної хвилі на поверхні корундового шару до 300 гр. п. к. в. і помірне зростання максимальної температури до 385 гр. п. к. в.

Здійснено визначення зміни температурного стану поршня на глибині x залежно від кута повороту колінчатого вала φ і товщини теплоізолюючого шару. Для поршня без корундового шару на глибині $h = 1,1 \cdot 10^{-3}$ м розмах температурної хвилі складає 3 К. Коливання практично має місце до величини $h < 3 \cdot 10^{-3}$ м. Ці дані досить близькі до результатів досліджень Абрамчука Ф. І. і Кавтарадзе Р.З. - глибина проникнення температурної хвилі у швидкохідних двигунах становить $h = (1-2) \cdot 10^{-3}$ м від поверхні, а для тихохідних дизелів $h = (3-5) \cdot 10^{-3}$ м.

На рис. 5 наведено результати розрахункових досліджень при визначеній раціональній товщині корундового шару δ .

Тут має місце зростання величини повного коливання температури поверхні поршня при рості максимальної до $386\text{ }^{\circ}\text{C}$ та зменшенні мінімальної температури до $306\text{ }^{\circ}\text{C}$. На глибині $h = 0,12 \cdot 10^{-3}$ м від поверхні, де закінчується корундовий шар, при $\varphi = 380$ гр. п. к. в., температура складає $307\text{ }^{\circ}\text{C}$, а при $\varphi = 480$ гр. п. к. в. – $313\text{ }^{\circ}\text{C}$, тобто розмах температурної хвилі становить 6 К. На глибині $h = 1,1 \cdot 10^{-3}$ м цей розмах дорівнює 2 К. Таким чином, при раціональній товщині корундового шару основне гасіння температурної хвилі має місце в цьому шарі, а повне гасіння температурної хвилі має місце в основному матеріалі поршня.

При використанні на поверхні КЗ низькотеплопровідного тонкошарового покриття маємо: зростання величини повного коливання температури поверхні поршня при зростанні максимальної температури; зменшення глибини проникнення температурної хвилі в тіло поршня; збільшення швидкості зміни температури поверхні поршня.

На підставі даних чисельного експерименту по моделюванню високочастотних коливань температури в поверхневому шарі матеріалу поршня з низькотеплопровідним шаром визначені характеристики температурної хвилі при збільшенні товщини шару до повного гасіння температурної хвилі в шарі. Встановлено що миттєві значення температури поверхні КЗ поршня з низькотеплопровідним шаром у процесі газообміну можуть бути менше відповідної температури конструкції поршня без низькотеплопровідного шару. В цьому випадку товщина низькотеплопровідного шару не перевищує глибини загасання температурної хвилі. З іншого боку, на ділянках згоряння-розширення маємо суттєве зростання температури поверхні. При цьому, збільшення товщини шару призводить до випереджаючого зростання температури під час розширення та випуску.

Важливим результатом дослідження є уточнення рекомендованої товщини для теплоізолюючого шару, при якому мінімальна миттєва температура стінки з низькотеплопровідним шаром має більш низькі значення, чим високотеплопровідна стінка КЗ без шару. Товщина такого шару не повинна перевершувати глибину динамічного теплоізолюючого шару стінки. В загальному випадку встановлення раціональної товщини теплоізолюючого шару поршня повинне здійснюватися на основі компромісного рішення, з урахуванням температурного стану поверхні КЗ, параметрів робочого процесу двигуна й конструкції ДВЗ.

В дисертації сформульовані вимоги для забезпечення найкращого співвідношення температури поверхні КЗ ДВЗ і температури робочого тіла. Створювана теплова ізоляція повинна забезпечити:

- мінімальне підведення теплоти від стінки до газу на ділянці наповнення;
- раціональне сполучення мінімального теплового потоку від стінки до газу на початковій ділянці стиску й максимальної температури стінки на заключному;
- температуру стінки на ділянці згоряння у випадку використання традиційної паливної апаратури, не нижче, ніж критична температура палива.

Встановлені вимоги до методу утворення теплоізоляції:

- утворення корундового шару на поверхні алюмінієвих поршнів повинне проводитись методом МДО;

- метод МДО повинен забезпечувати: високу адгезію з основним матеріалом, високу твердість шару, зносостійкість, низьку теплопровідність, високу теплостійкість, скорочення часу утворення корундового шару в порівнянні з відомими аналогами;

- метод повинен формувати корундовий шар поверхні поршня на глибину h понад $0,2 \cdot 10^{-3}$ м, що забезпечує найбільшу ефективність теплоізоляції;

- метод повинен забезпечувати формування переважно структури $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, яка найбільш повно забезпечує умови мінімальної теплопровідності. Виконання цих вимог в комплексі забезпечує тривалу працездатність ЦПП, яка значною мірою визначає ресурс ДВЗ.

У третьому розділі розглянуто комплекс методик проведення експериментальних досліджень: методика досліджень по вдосконаленню методу МДО; методика по встановленню оптимальних режимів МДО; програма й методика експлуатаційних випробувань двигунів тепловозів ЧМЕ-3, оснащених поршнями з корундовим шаром; методика реостатних випробувань двигунів тепловозів ЧМЕ-3 із серійними й дослідними поршнями; методика проведення порівняльних досліджень дизеля СМД-23 на моторному стенді; методика порівняльних випробувань двигуна МеМЗ-245 із серійними поршнями й поршнями з корундовим шаром при проведенні стендових випробувань на міцність перемичок і експериментальних досліджень автомобільного двигуна МеМЗ-245; методика порівняльних випробувань дизеля Д-240Л з серійними й дослідними поршнями на обкаточно-гальмовому стенді; методика випробувань дизеля Д65НТ1 у складі нового трактора ЮМЗ 6АКЛ на стенді ЮМЗ. Усі ці методики стали важливим інструментом дисертаційного дослідження.

Четвертий розділ присвячено експериментальним дослідженням з удосконалення методу МДО та розробці процесу ГПО. Метод ГПО удосконалений у частині значного збільшення щільності струму оксидування без зриву мікроплазменого процесу й одержанням керамічного «корундового» шару з високою адгезією, твердістю, зносостійкістю, низькою теплопровідністю. Утворення на поршнях поверхневого корундового шару товщиною до $0,3 \cdot 10^{-3}$ м у НТУ «ХП» здійснювалося на дослідній установці «Корунд-7» методом ГПО в лужному електроліті при робочій напрузі близько 1000 В при щільності струму до $1 \cdot 10^4$ А/м². Технологія ГПО відрізняється від наведених раніше методів МДО електрофізичними параметрами процесу: робочою напругою і щільністю струму, конфігурацією імпульсів напруги, має більше високу швидкість формування керамічного шару за рахунок високої щільності струму, дозволяє обробляти відносно більші поверхні, дозволяє одержати корундову кераміку. Розроблений метод ГПО показав свою економічну ефективність. Визначення фазової сполуки по глибині корундового шару, утвореного при щільності струму близько $1 \cdot 10^4$ А/м² у поршневих алюмінієвих сплавів здійснювалося на косому шліфі (кут 2°). Рентгенівські зйомки були виконані на рентгенівському дифрактометрі ДРОН-2 у фільтрованому випромінюванні залізного анода в інтервалі кутів 10–160° при кімнатній температурі. У результаті аналізу виконаних досліджень зроблені такі висновки:

- корундовий шар має кристалічну будову з хаотичним орієнтуванням кристалів;
- основною кристалічною фазою корундової кераміки є $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$;
- склофаза розподілена рівномірно й утворює плівки навколо зерен $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ шириною $(1-2)\cdot 10^{-6}$ м;
- кристали корунду можуть бути призматичними або ізометричними.

Для ряду типорозмірів поршнів дизелів створено напівпромислово устатковану ГПО, розроблено маршрутну й операційну технологію ГПО й дано короткий опис технологічного процесу ГПО поршнів. Установа Корунд-7 складається із силового блоку із чотирма ступенями регулювання потужності, блоку керування, вимірювального блоку, гальванічної ванни, системи подачі й охолодження електроліту, системи кріплення деталі, системи повітряного охолодження електроліту, системи подачі й охолодження води, системи вентиляції. Для одержання корундового шару $(0,4-0,5)\cdot 10^{-3}$ м з пробійною напругою біля 1000 В застосовується конденсаторне джерело. Живлення установки здійснюється від мережі трифазного змінного струму $U = 380$ В, $I \leq 50$ А. Розроблено конструкції й виготовлені спеціальні катоди для ГПО окремо денця поршня, головки й зони поршневих кілець, циліндричної частини й для обробки всієї зовнішньої поверхні поршня. Наведено схеми подачі електроліту для ГПО різних частин поршня. Визначено режими одержання керамічного шару з перевагою фази $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ – корундової кераміки. Результати дисертаційного дослідження довели перевагу удосконаленого методу МДО і розробленого процесу ГПО над відомими методами утворення корундового шару ДВЗ.

П'ятий розділ присвячено експериментальній перевірці адекватності математичної моделі нестационарного температурного стану поверхні поршня з низькотеплопровідним шаром та аналізу впливу товщини корундового шару на поверхні поршня на збільшення ресурсу двигунів. Оцінка впливу поршнів з корундовим шаром на ресурс тепловозного дизеля проводилася в умовах депо Харків-Сортувальний на протязі 16 років. Мета випробувань - визначення працездатності й ресурсу дослідних поршнів з корундовим шаром малої товщини, установлених в двигунах маневрових тепловозів ЧМЕ-3, в умовах рядової експлуатації. Для порівняння ресурсів дизелів у процесі тривалої експлуатації й порівняння величин зношування циліндропоршневих груп були підібрані 2 тепловози з дизелями К6S310DR випуску 1989 р

У процесі випробувань на кожному ПР-3 проводився огляд ЦПГ і обмірювання гільз і поршнів з оформленням протоколів вимірів. При проведенні реостатних випробувань фіксувалася витрата палива й проводилися екологічні вимірювання. Оцінка працездатності дослідних двигунів визначалася величиною зношування за результатами вимірювання гільз і поршнів на кожному поточному ремонті ПР-3 і порівнянням результатів реостатних випробувань із технічними вимогами. У лютому 1993 р. під час проведення ПР-3 на дизель К6S310DR №41103/752 тепловоза ЧМЕ-3 встановлені дослідні поршні з корундовим поверхневим шаром. Після наробітку 93660 мотогодин у вересні 2005 р. під час проведення ПР-3 дизель був розібраний, деталі ЦПГ були оглянуті й проведений мікрометраж поршнів з корундовим шаром (рис.6).

Зношування головки, кільцевих канавок і циліндричної частини поршнів практично було відсутнє, а на денці поршнів не було нагару. Після наробітку 114676 мо-

тогодин ширина кільцевих канавок верхніх компресійних кілець наведена на (рис. 7).

Після наробітку 114676 мотогодин стало помітним незначне зношування корундового шару на циліндричній частині поршнів, а на циліндричній частині головок, кільцевих канавках і на денцях з'явився нагар товщиною $(50-80) \cdot 10^{-6}$ м. Залягання кілець не було. На всіх поршнях видний корундовий шар на циліндричній частині й поступовий ріст товщини нагару з боку пальцевого отвору на поверхні без корундового шару. Робоча частина циліндричної поверхні не має подряпин і задирів. За період експлуатації з березня 1993 р. по грудень 2008 р. зношування поршнів поступово росте, але швидкість зношування згодом наростає. Ширина верхніх кільцевих канавок поршнів (В) також не виходить за межі припустимих значень $6,5 \cdot 10^{-3}$ м. За цей період у серійному двигуні поршні змінювалися 3 рази.

При проведенні поточного ремонту ПР-3 (1993 р.) у локомотивному депо «Харків -Сортувальний» у дизель тепловоза ЧМЕ-3 встановлені нові гільзи в п'ятий і шостий циліндри замість зношених з моменту введення тепловоза в експлуатацію. Інші гільзи були залишені для подальшої роботи. Після експлуатації 114676 мотогодин зношування гільз не перевищувало $150 \cdot 10^{-3}$ м, що значно менше припустимих значень зношування $200 \cdot 10^{-6}$ м (рис. 8).

При проведенні поточного ремонту ПР-2 12.1994 р. у дизель К6S310DR серійного тепловоза ЧМЕ-3 встановлені всі 6 нових ЦПГ, а в 2002 р. були замінені 3 ЦПГ в 3, 4 й 6 циліндрах. Після капітального ремонту 07.2002 р., серійний дизель відробив до 13.10.2008 р. 46512 мотогодин. При огляді серійних поршнів дизеля тепловоза ЧМЕ-3 було встановлене значне зношування циліндричної частини головки поршнів. На днищах поршнів утворився нагар товщиною до $1 \cdot 10^{-3}$ м і почав відшаровуватися (рис. 9). При попаданні в зазор між гільзою й поршнем він викликав зношування головки поршня, циліндричної частини поршня, поршневих кілець і кільцевих перемичок. Зношування кільцевих перемичок перевищувало припустимі значення (рис. 10). Ширина верхньої кільцевої канавки першого поршня дорівнювала $8 \cdot 10^{-3}$ м, другого $7,5 \cdot 10^{-3}$ м, третього – $7,2 \cdot 10^{-3}$ м, п'ятого – $8,2 \cdot 10^{-3}$ м і шостого – $7,8 \cdot 10^{-3}$ м. Розміри вийшли за межі допуску навіть для ремонтних розмірів ширини кільцевих канавок. Зношування гільз серійного дизеля досягає граничних розмірів через 40–60 тис. мотогодин і вимагає їхньої заміни (рис. 11).

Таким чином, в дисертаційному дослідженні на підставі 16-річних експлуатаційних випробувань тепловоза ЧМЕ-3, оснащеного серійними поршнями, та тепловоза ЧМЕ-3, оснащеного поршнями з корундовим шаром, в умовах експлуатації в депо Харків-Сортувальний встановлено, що для дизеля тепловоза ЧМЕ-3 з поршнями з корундовим поверхневим шаром показано збільшення ресурсу ЦПГ більше ніж у 2 рази в порівнянні із серійною ЦПГ. Ресурс ЦПГ з поршнями з корундовим поверхневим шаром перевищив 114676 мотогодин, а ресурс ЦПГ з серійними поршнями склав 46512 мотогодин, що підтверджено відповідними актами, які наведені в додатку дисертації.

Експериментальним підтвердженням працездатності поршнів з корундовим шаром малої товщини були польові ресурсні випробування двигуна Д240Л, встановленого на тракторі «Білорусь», які проводилися з 15.03.1999 р. по березень 2003 р. у КСП «Маяк», с. Революційне Вовчанського району Харківської обл. За період

польових ресурсних випробувань ЦПГ не замінялася, а двигун з поршнями з корундовим шаром відробив більше 15 тис. мотогодин і вийшов з ладу в результаті обриву клапана. Мікрометраж деталей показав, що розміри деталей ЦПГ й кривошипно-шатунних механізмів залишилися без змін.

Експериментальні дослідження із застосовності корундової теплоізоляції та її вплив на детонаційну стійкість автомобільного двигуна МеМЗ 245 показали, що серійні поршні витримують, у середньому, 4 цикли роботи з детонацією, а поршні з корундовим шаром на денці витримують 8 циклів роботи з детонацією, тобто мають в 2 рази більшу детонаційну стійкість перемичок (рис. 12).

Наявність теплоізолюючого корундового шару тільки на денці поршня товщиною до $0,2 \cdot 10^{-6}$ м дозволяє збільшити міцність поршня й стійкість перемичок за рахунок зменшення теплового потоку й зниження температури поршня. Поршні з корундовим шаром на денці й кільцевому поясі витримують 9 циклів роботи з детонацією, тобто мають в 2,25 рази більше високу стійкість при роботі в умовах детонації. Утворення корундового шару на кільцевих перемичках поршня дозволяє збільшити детонаційну стійкість поршня за рахунок теплостійкості й твердості поверхневого шару перемичок.

У поршнів з корундовим шаром на денці й кільцевому поясі температури внутрішньої частини денця, над верхнім компресійним кільцем і на перемичці між компресійними кільцями нижче, ніж температури на серійному поршні на 12–20 °С. Поршні з корундовим шаром на денці й кільцевому поясі дозволили досягти на двигуні з турбонагнітачем $N_{e_{\max}} = 60$ кВт при $n = 5000$ хв⁻¹, $p_k = 0,081$ МПа наддування й $M_{кр_{\max}} = 120,4$ Н·м при $n = 4000$ хв⁻¹, $p_k = 0,081$ МПа. Серійні поршні не дозволяють досягти максимальної потужності 60 кВт при тиску на впуску $p_k = 0,070927$ МПа через появу задирів і прогару денця на двигуні з турбонагнітачем.

Експериментальні дослідження двигуна СМД-23, укомплектованого дослідними поршнями з корундовим шаром дозволили установити, що корундовий шар на циліндричній поверхні поршня, який має високу твердість і дрібнозернисту структуру, обумовив вигладжування поверхні гільзи. Після випробувань двигуна, укомплектованого поршнями з корундовим шаром, гільза не мала подряпин, у неї була дзеркальна поверхня. Низький коефіцієнт тертя й пористість (до 10–12%) корундового шару забезпечили зниження тертя й зменшення зношування поверхні гільзи. У той же час гільзи циліндрів, що працювали із серійними поршнями, мали поздовжні подряпини.

У шостому розділі розглянуті результати експериментальних досліджень впливу корундового шару поршнів на ефективні показники двигунів. Вплив застосування поршнів з корундовим шаром на експлуатаційні показники двигуна тепловоза ЧМЕ-3 проводився в умовах депо Харків-Сортувальний. (рис. 13).

Випробування з визначенням параметрів дизель-генератора проводилися на режимах тепловозної характеристики при виконанні реостатних випробувань, за узгодженням зі службами «Укрзалізниці». Порівняння реостатних характеристик тепловоза ЧМЭ-3 №6830 з дослідним ДВЗ здійснювалося із серійним тепловозом ЧМЕ-3 №6835.

Зниження реостатної потужності в процесі експлуатації серійного й модернізованого дизелів можна пояснити зношуванням деталей ЦПГ. Разом з тим, установка

поршнів з корундовим шаром у дизель тепловоза дозволяє підвищити ефективну потужність дизеля на всіх режимах роботи, у порівнянні із серійним, на 50–110 кВт. Збільшення реостатної потужності модернізованого дизеля у порівнянні із серійним можна пояснити зменшенням механічних втрат за рахунок суттєво менших коефіцієнтів тертя корундового шару поршня по гільзі циліндрів та поліпшенням ефективності процесу згоряння. Останнє твердження базується на дослідженнях індикаторних діаграм дизеля типу 4ЧН12/14.

Випробування дизеля Д-240Л з поршнями з корундовим поверхневим шаром на всій зовнішній поверхні товщиною до $0,2 \cdot 10^{-3}$ м показали підвищення максимальної потужності двигуна на 8,6% і зниження питомої витрати палива на 6,6%, температури охолоджувальної води й масла на 15°C . За весь період експлуатації витрати палива й масла були нижче за норми, установлені для нових двигунів.

Експериментальні дослідження серійного і дослідного дизеля Д65НТ1 з поршнями з корундовим поверхневим шаром на всій зовнішній поверхні й тефлоновим захисним покриттям на циліндричній поверхні показали підвищення розвиваємої потужності на 4,4%, зниження витрати палива на 5,1% і зменшення димності вихлопних газів з 46 до 30% для дизеля з дослідними поршнями. Температура води на виході знизилася з 85 до 80°C .

Оцінка впливу теплоізолюючого корундового шару на ефективні показники двигуна МемЗ-245 проводилася порівнянням характеристик $g_e = f(n)$ для серійної й дослідної комплектації двигуна (рис. 14) на підставі результатів експериментальних досліджень, що були проведені в лабораторії Мелітопольського моторного заводу. У результаті випробувань встановлено, що двигун, укомплектований поршнями з корундовим поверхневим шаром, має більше низькі витрати палива. Так для частоти обертання колінчатого вала 3000 хв^{-1} зниження питомої витрати палива відбувається у всьому діапазоні навантажень і становить від 1,7 до 8,3%, а для частоти обертання колінчатого вала 1500 хв^{-1} – до 4,6%. При визначенні витрати палива на холостому ході по регульовальній характеристиці при $n = 800 \text{ хв}^{-1}$ встановлене зниження витрати палива на 10%.

Експериментальні дослідження автомобільного двигуна МемЗ-245 показали, що теплозахисний корундовий шар на поршні двигуна зменшує тепловідведення через поршень, дозволяє краще використати тепло для організації процесу згоряння й підвищити паливно-економічні показники двигуна. Знизити витрату палива двигуна МемЗ-245 дозволило помірне підвищення температури поверхневого корундового шару товщиною $(0,15-0,2) \cdot 10^{-3}$ м.

Поліпшення паливно-економічних показників двигуна особливо помітно на часткових режимах, а саме ці режими роботи двигуна є найбільш вагомими при оцінці економічності силової установки транспортних засобів. Ці дослідження підтверджують ефект позитивного впливу динамічної теплоізоляції корундового шару поршнів на поліпшення показників бензинових ДВЗ.

Визначенню впливу корундового шару поршнів на ефективні і індикаторні показники дизельного двигуна присвячено комплекс експериментальних досліджень дизеля 4ЧН 12/14 (СМД-23), що були проведені в лабораторії кафедри ДВЗ НТУ «ХП». Ці дослідження дозволили підтвердити адекватність запропонованої моделі

нестационарного температурного стану низькотеплопровідного поверхневого шару КЗ поршня й розрахунків температурного стану поверхні поршня з корундовим шаром і серійними поршнями. Аналіз індикаторних діаграм режимів роботи двигуна 4ЧН 12/14, показав, що при комплектації дослідними поршнями з корундовим шаром, він має більш високі значення максимального тиску циклу у всьому діапазоні режимів роботи дизеля, що обумовлено збільшенням швидкості згоряння палива в районі ВМТ. Порівняння швидкостей тепловиділення при роботі дизеля з серійними й дослідними поршнями показує (рис. 15), що швидкість тепловиділення в ДВЗ із дослідними поршнями істотно нижче в області першого максимуму і значно вище в області другого максимуму. Величина першого максимуму швидкості тепловиділення в ДВЗ із корундовими поршнями нижче на 0,0357 1/гр. і зрушена у бік менших кутів п. к. в. від ВМТ, ніж у ДВЗ із серійними поршнями. Це пояснюється зменшенням тривалості періоду затримки запалювання на 1,47 гр. п. к. в. й кількості упорснудого палива. Останнє обумовило більш м'яку роботу двигуна. Збільшення максимального значення швидкості згоряння в області другого максимуму на 0,0032 1/град. і наближення його до ВМТ на 1,4 гр. п.к.в. якісно підтверджує більш ефективне використання теплоти згоряння палива й кращу економічність роботи двигуна.

Також слід зазначити більш раннє (на 10-20 гр. п.к.в.) закінчення згоряння. При використанні дослідних поршнів виявлено зменшення періоду затримки запалювання у порівнянні зі штатними поршнями на 1-2 гр. п.к.в. практично у всьому діапазоні режимів роботи на досліджуваних навантажувальних характеристиках. Період затримки запалювання в ДВЗ із поршнем з корундовим шаром був коротше на 1,47 гр. п.к.в., чим у ДВЗ із серійним поршнем. У період стиску температура заряду в ДВЗ із поршнем з корундовим шаром вище на (13-15) К у порівнянні із використанням серійних поршнів. Максимальне значення температури в двигуні із поршнем з корундовим шаром на 30,44 К вище й зрушилося у бік ВМТ на 4,24 гр. п. к. в., що вказує на скорочення тривалості третьої фази згоряння (рис. 16).

На лінії розширення температура газу в ДВЗ із поршнем з корундовим шаром падає більш круто. Так при $\phi=440$ гр. п.к.в. вона нижче на 109 К, при $\phi=460$ гр. п.к.в. - нижче на 131 К, а згоряння закінчується на 30 гр. п.к.в. раніше, ніж у ДВЗ із серійним поршнем. Внаслідок більш раннього закінчення згоряння температура вихлопних газів знижується майже на 10%. Серійні поршні після випробувань мали нагар на головці товщиною від $20 \cdot 10^{-6}$ м до $160 \cdot 10^{-6}$ м, а після випробувань двигуна з корундовими поршнями на головках поршнів не було нагару. Більш висока температура корундової поверхні денця поршня сприяє більш повному згорянню палива, що і обумовлює відсутність нагару.

Результати експериментальних досліджень усіх ДВЗ, укомплектованих дослідними поршнями з корундовим шаром, підтвердили ефект позитивного впливу часткової динамічної теплоізоляції на показники робочого процесу автотракторних двигунів, а удосконалений метод ГПО дозволяє одержувати теплоізолюваний шар, який забезпечує підвищення ефективності роботи ДВЗ.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі і вирішена науково-практична проблема розробки науково-технічних основ поліпшення показників ДВЗ застосуванням поршнів з корундовим шаром. Проведене дисертаційне дослідження дозволило отримати якісно новий рівень техніко-економічних показників ДВЗ, а саме: підвищення ресурсу у 2-3 разі, надійності, економічності і зниження витрат на експлуатацію. Вирішення проблеми було досягнуто частковою теплоізоляцією КЗ ДВЗ - встановленням поршнів з раціональними параметрами теплоізолюючого керамічного корундового шару. Запропоноване рішення наукової проблеми дозволило на обґрунтованій науковій основі практично реалізувати підвищення якості як при виготовленні, так і при ремонті ДВЗ будь-якого призначення.

Отримані наукові і практичні результати:

1 В дисертаційній роботі на підставі аналізу результатів використання різних способів теплоізоляції деталей КЗ з метою підвищення ефективності роботи ДВЗ, встановлено причини обмеженого їх застосування і визначено раціональні шляхи вирішення цієї проблеми.

2 Встановлено, теоретично обґрунтовано, експериментально підтверджено в експлуатації ефект позитивного впливу часткової динамічної теплоізоляції поршнів з корундовим шаром малої товщини на процес згоряння палива в циліндрах дизеля, показники робочого процесу, паливної економічності й ресурс ДВЗ. Це підтверджено результатами моторних, стендових, польових ресурсних, ресурсних експлуатаційних й промислових реостатних випробувань двигунів з поршнями з корундовим шаром.

3. Розроблено математичну модель для дослідження впливу часткової динамічної теплоізоляції поршнів поверхневим корундовим шаром малої товщини на показники робочого процесу двигунів та теоретично обґрунтовано раціональну товщину корундового шару, що забезпечує поліпшення техніко-економічних показників ДВЗ.

4. Обґрунтовано, розроблено й впроваджено прогресивну технологію ГПО поршнів з алюмінієвих сплавів з одержанням шару корундової кераміки:

– удосконалений метод МДО в частині значного збільшення щільності струму оксидування без зриву мікроплазменого процесу в дуговий й реалізований метод ГПО, що відрізняється від відомого раніше швидкістю процесу й одержанням керамічного «корундового» шару з високою адгезією до основного металу, високою твердістю, зносостійкістю, низькою теплопровідністю й визначені режими одержання керамічного шару, переважно фази $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ – корундової кераміки;

– розроблено й створено напівпромислову установку гальваноплазменної обробки для ряду типорозмірів поршнів дизелів;

– розроблені конструкції й виготовлені спеціальні катоди для гальваноплазменної обробки окремо денця поршня, головки й зони поршневих кілець, циліндричної частини й для обробки всієї зовнішньої поверхні поршня.

5. Установлено й експериментально підтверджено висока працездатність корундової кераміки, утвореної ГПО, на поршнях з алюмінієвих сплавів.

6. Після тривалої експлуатації встановлене значне у 2–3 рази підвищення ресурсу тракторних, автомобільних і тепловозних дизелів.

7. Розроблені й після експериментальної й виробничої перевірки затверджені в Україні ТУ на поршні з корундовим шаром для ДВЗ.

8. Наукові положення, висновки й рекомендації обґрунтовані теоретичними рішеннями й підтверджуються експериментальними й ресурсними дослідженнями дизелів з поршнями з корундовим шаром Д240Л, Д65НТ1, 4ЧН 12/14, практикою тривалої експлуатації двигуна К6S310DR маневрового тепловоза ЧМЕ-3, двигуна МеМЗ-245.

9. Результати впроваджено:

– в Технічних умовах ТУ У 3.34.03972764.134-99 «Поршні з корундовим шаром для двигунів внутрішнього згорання»; – в тепловозному депо Харків-Сортувальний для ремонту тепловозів ЧМЕ-3; – в навчальному процесі для студентів спеціальності 090210 – двигуни внутрішнього згорання кафедри ДВЗ НТУ «ХП».

Результати дисертаційного дослідження рекомендовано для використання в спеціалізованих КБ по двигунобудуванню, навчальному процесі ВНЗ, практиці наукових досліджень НДІ і спеціалізованих кафедр ВНЗ, підприємствах, що виготовляють і ремонтують ДВЗ різного призначення.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Шпаковский В.В. Применение поршней с корундовым слоем – способ повышения надёжности двигателей внутреннего сгорания / В.В. Шпаковский, В.А. Пылёв, В.В. Осейчук // Автомобильный транспорт. – 2007. Вип.21. – С. 128-131.

Здобувачем виконана ГПО трьох комплектів поршнів двигуна МеМз-245, проведено випробування по оцінці детонаційної стійкості кільцевих перемичок і дані рекомендації із застосування поршнів з корундовим шаром.

2. Шпаковский В.В. Повышение ресурса тепловозных дизелей применением гальвано-плазменной обработки рабочих поверхностей поршней / В.В. Шпаковский, А.П. Марченко, И.В. Парсаданов, С.А. Феоктистов, С.М. Маслий, В.В. Осейчук // Двигатели внутреннего сгорания. – 2007. – № 1. – С. 101–104.

Здобувачем проведено аналіз зношування циліндричної частини поршнів, кільцевих перемичок, гільз циліндрів серійного й дослідного дизелів тепловозів ЧМЕ-3 у процесі тривалих ресурсних випробувань.

3. Шпаковский В.В. Влияние корундовой поверхности поршней дизеля тепловоза ЧМЭ-3 на эксплуатационные характеристики цилиндропоршневой группы / В.В. Шпаковский, В.В. Осейчук // Двигатели внутреннего сгорания. – 2007. №2. – С. 101-105.

Здобувачем виконано дослідження впливу корундового поверхневого шару, нанесеного на різні частини робочої поверхні поршнів, на зношування гільз циліндрів і кільцевих перемичок.

4. Шпаковский В.В. Оценка влияния корундового поверхностного слоя камеры сгорания поршня на ускорение предпламенной подготовки топлива / В.В. Шпаковский, А.П. Марченко, В.А. Пылев, О.Ю. Линьков, В.В. Осейчук //

Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2007. – Вип.29 – С. 115-121.

Здобувачем проведено розрахунки щодо впливу теплоізоляції робочої поверхні поршня на прискорення передпламеної підготовки палива й зроблені висновки.

5. Шпаковский В.В. Электреты в двигателях внутреннего сгорания / В.В. Шпаковский, О.Ю. Линьков, В.В. Осейчук // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – Харків: Нац. аерокосміч. ун-т «ХАІ». – 2008. №9 (56). – С. 125-128.

Здобувачем запропоновано гіпотезу впливу електретного корундового шару поршня на показники робочого процесу двигунів.

6. Шпаковский В.В. Анализ эффективности применения поршней с корундовым слоем для снижения расхода топлива / В.В. Шпаковский, О.Ю. Линьков // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – Харків: Нац. аерокосміч. ун-т «ХАІ». – 2008. №10 (57) – С. 140-144.

Здобувачем встановлено, що помірне підвищення температури поверхневого корундового шару поршня дозволяє знизити витрату палива двигуна MeM3-245.

7. Шпаковский В.В. Анализ высокочастотных колебаний температуры в поверхностном слое поршня с теплоизолирующим покрытием / А.П. Марченко, В.О. Пильов, В.В. Шпаковский, В.В. Пильов // Двигатели внутреннего сгорания. – 2008. – № 1 – С. 65–71.

Здобувачем зроблено аналіз чисельного експерименту з моделювання високочастотного коливання температури в поверхневому корундовому шарі поршня.

8. Шпаковский В.В. Распределение мгновенных тепловых потоков и температур в поверхностном слое теплоизолируемого поршня ДВС / А.П. Марченко, В.А. Пылев, В.В. Шпаковский, В.В. Пылев // Двигатели внутреннего сгорания. – 2008. – № 2 – С. 32–38.

Здобувачем рекомендована товщина корундового шару поршня, при якій миттєва мінімальна температура поверхні має більш низькі значення, ніж поверхня без теплоізоляції.

9. Шпаковский В.В. Проблемы повышения эффективности ДВС путём применения новых материалов для цилиндропоршневой группы и задачи научных исследований / В.В. Шпаковский // Механіка та машинобудування. – 2008. – № 1. – С. 193–197.

10. Шпаковский В.В. Оценка влияния толщины теплоизоляции на температурное состояние поршня с корундовым слоем на огневой поверхности / В.В. Шпаковский, О.Ю. Линьков, В.В. Пылёв // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2008. – Вип.46. – С. 169-173.

Здобувачем встановлено, що найбільша інтенсивність зниження теплового потоку в поршень спостерігається при товщині корундового шару 0,1–0,15 мм.

11. Шпаковский В.В. Результаты длительных ресурсных испытаний серийного дизеля тепловоза ЧМЭ-3 / В.В. Шпаковский // Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. – Харків: ХНАДУ. 2009. – Вип. 45. - С. 75-78.

12. Шпаковский В.В. Результаты исследований износа поршней с корундовым поверхностным слоем дизеля тепловоза ЧМЭ-3/ В.В. Шпаковский // Авіаційно-

космічна техніка і технологія. – Харків: Нац. аерокосміч. ун-т «ХАІ». – 2009. №2 (57). – С. 140-144.

13. Шпаковский В.В. Исследования износа гильз цилиндров при ресурсных испытаниях дизеля тепловоза ЧМЭ-3 с «корундовыми» поршнями / В.В. Шпаковский // Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту. – Харків: УкрДАЗТ. – 2009. – Вип.107. – С. 40-45.

14. Шпаковский В.В. Износостойкость поршней с корундовым слоем и серийных поршней в условиях длительной эксплуатации дизелей маневровых тепловозов ЧМЭ-3 / В.В. Шпаковский // Автомобільний транспорт. - 2009. Вип. 24. - С. 128-131.

15. Шпаковский В.В. Оснащение дизелей маневровых тепловозов поршнями с корундовым слоем для повышения эффективной мощности после текущего ремонта / В.В. Шпаковский // Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту. – Харків: УкрДАЗТ.– 2009. – Вип. 108. – С. 56-60.

16. Шпаковский В.В. Изменение скоростных характеристик дизелей маневровых тепловозов в процессе длительной эксплуатации / В.В. Шпаковский // Двигатели внутреннего сгорания. – 2009. №1. – С. 111–112.

17. Шпаковский В.В. Результаты реостатных испытаний дизелей с поршнями, прошедшими гальваноплазменную обработку поверхности / В.В. Шпаковский // Двигатели внутреннего сгорания. – 2009. – № 2 – С. 115–116.

18. Шпаковский В.В. Влияние керамической теплоизоляции поршня на размах температурной волны / В.В. Шпаковский, А.П. Марченко, О.Ю. Линьков, В.В. Пылёв // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – Харків: Нац. аерокосміч. ун-т «ХАІ». – 2009. №8(65). – С. 111-115.

Здобувачем проаналізовано валив коефіцієнта теплопровідності на величину розмаху температурної хвилі. Встановлено, що зі зменшенням коефіцієнта теплопровідності максимальні значення розмаху температурної хвилі ростуть, але зростає й мінімальне значення розмаху температурної хвилі.

19. Шпаковский В.В. Результаты математического моделирования температурного состояния поверхности камеры сгорания поршня с керамическим поверхностным слоем / В.В. Шпаковский, А.П. Марченко, В.В. Пылёв // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – Харків: Нац. аерокосміч. ун-т «ХАІ». – 2009. №3(60) – С. 80-84.

Здобувачем обґрунтовано підвищення ефективності роботи й ресурсу двигуна при частковій теплоізоляції КЗ.

20. Shpakovsky V Patent Application Publikation United States. Method of producing corundum layer on metal parts / Shpakovsky V, Shpakovsky I, Beleske A. №: US 2006/0207884 A1, Date: Sep. 21, 2006.

Здобувачем запропоновано нову схему отримання анодно-катодних режимів

21. Шпаковский В.В. Повышение надёжности и долговечности тягового подвижного состава импортного производства с учётом экологических требований / А.Г. Терлик, В.В. Шпаковский // Технологии ремонта машин и механизмов «РЕМОНТ-98»: Междунар. науч.-техн. конфер. – Киев, 1998. – Часть 1. – С. 25–27.

Здобувачем виконана ГПО поршнів дизеля K6S310DR тепловоза ЧМЕ-3 і проведено випробування дослідних поршнів з видачею рекомендацій що до їхнього застосування експлуатаційно-ремонтними підприємствами залізничного транспорту.

22. Шпаковский В.В. Поршни с корундовой поверхностью / В.В. Шпаковский // Технологии ремонта машин и механизмов «РЕМОНТ-98»: Междунар. науч.-техн. конфер. – Киев, 1998. – Часть 2. – С. 63–64.

23. Шпаковский В.В. Повышение ресурса цилиндропоршневой группы тепловозного дизеля образованием корундового слоя на поверхности поршней / В.В. Шпаковский, А.П. Марченко, И.В. Парсаданов, С.А. Феоктистов, С.М. Маслий, И.В. Шпаковский, В.В. Осейчук // «Локомотив информ». – 2007 – С. 28–30.

Здобувач запропонував технологію ГПО поршнів тепловоза, проводив мікрометраж й оцінку ресурсу ЦПГ дизеля тепловоза ЧМЕ-3 після наробітку 93 тис. мотогодин при проведенні ПР-3.

24. Шпаковский В.В. Эффект влияния малых толщин теплозащитного покрытия поршня на его мгновенную поверхностную температуру / А.П. Марченко, В.А. Пылев, В.В. Шпаковский, В.В. Пылев // Фундаментальные и прикладные проблемы совершенствования поршневых двигателей: XI Междунар. науч.-практ. конфер. – Владимир, 2008. – С. 220–224.

Здобувачем запропоновано використовувати теплозахисний шар товщиною $0,2 \cdot 10^{-3}$ м з $\lambda = 2,85$ (Вт/м·К).

АНОТАЦІЇ

Шпаковський В.В. Науково-технічні основи поліпшення показників ДВЗ застосуванням поршнів з корундовим шаром. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.05.03 - двигуни та енергетичні установки. Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, 2009.

Дисертація присвячена створенню наукових основ поліпшення показників паливної економічності та надійності ДВЗ за рахунок застосування перспективної технології гальваноплазмової обробки поршнів. Теоретично обґрунтовано позитивний вплив малої товщини теплозахисного корундового шару на поверхні поршня на поліпшення характеристик ДВЗ. Запропоновано математичну модель впливу товщини корундового шару на підвищення ефективності роботи двигунів і визначення раціональної товщини корундового шару. Розроблено модель нестационарного температурного стану низькотеплопровідного поверхневого шару КЗ поршня з метою визначення миттєвої температури його поверхні. Наведено підтвердження адекватності запропонованої моделі нестационарного температурного стану низькотеплопровідного поверхневого шару КЗ поршня при експериментальних дослідженнях двигуна 4ЧН 12/14, укомплектованого дослідними корундовими поршнями. Запропоновано рекомендації із застосування розробленої технології утворення корундового шару. Представлені приклади застосування розроблених наукових основ підвищення ефективності ДВЗ і технології гальваноплазмової обробки поршнів для маневрового тепловоза ЧМЕ-3, тракторів Білорусь із двигунами Д240Л. Розроблені та, після експериментальної й виробничої перевірки, затверджені в Україні ТУ на поршні з корундовим шаром для ДВЗ.

Ключові слова: двигун, дизель, поршень, гільза циліндра, корундовий шар, ресурс, ефективна потужність, тепловоз.

Шпаковский В.В. Научно-технические основы улучшения показателей ДВС применением поршней с корундовым слоем. – Рукопись.

Диссертация на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 05.05.03 – двигатели и энергетические установки. – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, 2009.

Диссертация посвящена созданию научных основ улучшения показателей топливной экономичности ДВС, повышению ресурсной безотказности двигателей за счёт применения перспективной технологии гальваноплазменной обработки поршней. В диссертации приведено теоретическое обоснование нового решения крупной научно-технической проблемы, которая заключается в разработке научно-технических основ повышения эффективности ДВС, применением поршней с корундовым слоем. Попытки создания адиабатных двигателей потерпели неудачу. Практическая реализация «адиабатного» двигателя путем применения массивных жаровых накладок не приводит к снижению расхода топлива. Повышение температуры стенок КС до 500–700⁰С ухудшает показатели рабочего процесса дизелей. Частичная теплоизоляция КС с низкотеплопроводными накладками привела к усложнению конструкции деталей КС и ухудшению эффективности работы двигателей. Применение оксидных керамических покрытий, эмалированного керамического покрытия нанесённых пламенным или газопламенным методом на рабочую поверхность поршня показало их высокую эффективность. Снизился удельный расход топлива, улучшились условия запуска двигателя, снизились: потери тепла в окружающую среду, требования к сорту топлива, жесткость работы двигателя, температура тела поршня, повысился индикаторный КПД. Однако, несмотря на преимущества теплоизолирующих покрытий, они не нашли практического применения в двигателях внутреннего сгорания из-за малой адгезионной прочности и термостойкости. Керамические покрытия на алюминиевых поршнях подвержены значительным растягивающим напряжениям и имеют малую надёжность, происходит отслаивание покрытия от огневой поверхности поршня и остановка двигателя.

Решение проблемы нами было достигнуто частичной теплоизоляцией КС ДВС – установкой поршней с оптимальными параметрами поверхностного керамического корундового слоя. В работе теоретически обосновано позитивное влияние малой толщины теплозащитного корундового слоя поверхности поршня на улучшение характеристик ДВС. Предложена математическая модель для оценки влияния толщины корундового слоя на повышение эффективности работы двигателей и определения рациональной толщины корундового слоя. Разработана модель нестационарного температурного состояния низкотеплопроводного поверхностного слоя КС поршня с целью определения мгновенной температуры его поверхности. Усовершенствован метод микродугового оксидирования, в части значительного увеличения плотности тока оксидирования без срыва микроплазменного процесса в дуговой, который отличается от известного ранее скоростью процесса и получением керамического «корундового» слоя с высокой адгезией к основному металлу. Определены режимы получения керамического слоя, преимущественно фазы α -Al₂O₃ – корундовой керами-

ки. Впервые обоснована, разработана и внедрена прогрессивная технология гальваноплазменной обработки поршней из алюминиевых сплавов с получением слоя корундовой керамики. Подтверждение адекватности предложенной модели нестационарного температурного состояния низкотеплопроводного поверхностного слоя КС поршня получено при экспериментальных исследованиях двигателя 4ЧН 12/14, укомплектованного опытными поршнями с корундовым слоем. Внедрение усовершенствованного технологического процесса гальваноплазменной обработки поршней из алюминиевых сплавов и установление рациональной толщины корундового поверхностного слоя дало возможность в случае использования поршней с корундовым слоем, улучшить топливную экономичность и увеличить ресурс цилиндропоршневой группы более чем в 3 раза. Предложенное решение научной проблемы позволило на обоснованной научной основе получить качественно новые показатели двигателей внутреннего сгорания, практически реализовать повышение качества как при изготовлении, так и при ремонте двигателей любого назначения. Даны рекомендации по применению разработанной технологии образования корундового слоя. Предложен технологический процесс гальваноплазменной обработки поршней из алюминиевых сплавов. Создана полупромышленная установка гальваноплазменной обработки для ряда типоразмеров поршней дизелей. Разработаны и изготовлены специальные катоды для гальваноплазменной обработки отдельно днища поршня, головки и зоны поршневых колец, цилиндрической части и для обработки всей наружной поверхности поршня. Проведены моторные, стендовые, полевые ресурсные, ресурсные эксплуатационные и промышленные реостатные испытания двигателей с корундовыми поршнями для проверки адекватности математической модели нестационарного температурного состояния низкотеплопроводного поверхностного слоя КС поршня.

Достоверность научных положений, выводы и рекомендации обоснованы теоретическими решениями и подтверждаются экспериментальными исследованиями: двигателя MeM3-245, дизеля трактора ЮМЗ – Д65НТ1, практикой опытной эксплуатации и ресурсных исследований двигателя К6S310DR с поршнями с корундовым слоем маневрового тепловоза ЧМЭ-3, полевыми ресурсными испытаниями двигателя Д240Л трактора Беларусь, и не противоречат известным положениям технических и фундаментальных наук.

Разработаны и, после экспериментальной и производственной проверки, утверждены в Украине технические условия на поршни с корундовым слоем для ДВС.

Ключевые слова: двигатель, дизель, поршень, гильза цилиндра, корундовый слой, ресурс, эффективная мощность, тепловоз.

Shpakovsky V.V. Scientific technical bases of improvement of parameters internal combustion engines application of pistons with corundum a layer. – The Manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of Dr.Sci.Tech. on a speciality 05.05.03 – Engines and power installations. – National technical university « Kharkov polytechnic institute », Kharkov, 2009.

Dissertation is devoted to creation of scientific bases of improvement of parameters of fuel profitability internal combustion engines, increase of resource non-failure operation of engines due to application of perspective technology of galvanic-plasma processing pis-

tons. Positive influence of small thickness heat-shielding corundum a layer on a surface of the piston on improvement of characteristics internal combustion engines is theoretically proved. The mathematical model of influence of thickness corundum a layer on increase of an overall performance of engines and definition of rational thickness corundum a layer is offered.

The model of a non-stationary temperature condition low-heat conducting superficial layer of the piston is developed with the purpose of definition of instant temperature of his surface. Confirmations of adequacy of the offered model of a non-stationary temperature condition low-heat conducting superficial layer of the piston are resulted at experimental researches of the engine 4CHN12/14, completed skilled corundum by pistons. Recommendations on application of the developed technology of formation corundum a layer are offered. Examples of application of the developed scientific bases of increase of efficiency internal combustion engines and are given to technology galvanic-plasma processing's of pistons for shunting diesel locomotive, tractors Byelorussia with engines D240L. Was designed and, after experimental and industrial check, are authorized in Ukraine Technical Condition on pistons with corundum a layer for internal combustion engines.

Key words: the engine, a diesel engine, the piston, a sleeve of the cylinder, corundum a layer, a resource, effective power, a diesel locomotive.

Підписано до друку .05.2010. Формат 60x84^{1/16}. Папір друк №2.
Друк – ризографія. Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. .
Обл.-вид. арк. . Наклад 100 прим. Зам. № .
Ціна договірна.

Видавничий центр НТУ «ХП».

Свідоцтво про державну реєстрацію ДК №116 від 10.07.2000 р.
61002, Харків, вул. Фрунзе, 21

Друкарня НТУ «ХП». 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21