

jogo masljanogo oholodzhennja / V.O. Pyl'ov, O.M. Klymenko // *Visnyk NTU «HPI»*. Serija: *Transportne mashynobuduvan-nja*. – H.: NTU «HPI». – 2014. – №14 (1057). – S. 83–88. 5. Parsadanov I.V. Ocinka vplyvu gal'vanoplazmennogo pokryttja porshnja na vykydy tverdyh chastok z vidprac'ovanymy gazamy dyzelja / I.V. Parsadanov, A.P. Polyv'janchuk // *Dvyguny vnutrishn'ogo zgorjannja*. – 2009. – №2. – S. 94–96. 6. Shpakovskij V.V. Vlijanie korundovoj poverhnosti porshnej dizelja teplovoza ChMJe-3 na jekspluatacionnye harakteristiki cilindro-porshnevoj grupy / Shpakovskij V.V., Osejchuk V.V. // *Dvigateli vnutrennego sgoranija*. – 2007. – №2 – S. 101–105. 7. *Vejnblat M.X. Otklju-chenie ohlazhdenija porshnej na chastichnyh rezhimah* – rezerv

uluchshenija jekspluatacionnyh pokazatelej for-sirovannogo turboporshnevoego dizelja / M.X. Vejnblat, V.Ju. Bykov // *Dvigatelistroenie*. – 1985. – №6. – S. 20–21. 8. Bogomol'nyj E.S. *Issledovanie sistemy regulirovanija temperatury masla transportnyh dizelej s ohlazhdaenyimi porshnjami* : avtoref. dis. na sois-kanie uch. stepeni kand. tehn. nauk : spec. 05.04.02 «Tep-lovyje dvigateli» / Bogomol'nyj Efim Solomonovich. – L., 1976. – 17 s. 9. *Matvjejenko V.V. Ocinka resursnoi' micnosti porshnja u SAPR z urahuvannjam ekspluatacijnyh rezhymiv roboty dvyguna* / V.V. Matvjejenko, V.O. Pyl'ov, O.M. Klymenko [ta in.] // *Dvyguny vnutrishn'ogo zgorjannja*. – 2012. – №1. – S. 120–123.

Надійшла до редакції 02.07.2015 р.

Клименко Олександр Миколайович – аспірант кафедри двигуни внутрішнього згоряння Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, e-mail: klim23051987@rambler.ru.

Пильов Володимир Олександрович – доктор техн. наук, професор, професор кафедри двигуни внутрішнього згоряння Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна.

Обозний Сергій Володимирович – науковий співробітник кафедри двигуни внутрішнього згоряння Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна.

Ломакін Олександр Миколайович – канд. техн. наук, доцент кафедри динаміки та міцності машин Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ УЛУЧШЕНИЯ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И НАДЕЖНОСТИ ТРАНСПОРТНОГО ДИЗЕЛЯ

А.Н. Клименко, В.А. Пылев, С.В. Обозный, А.Н. Ломакин

Работа посвящена экспериментальному исследованию влияния регулирования температурного состояния поршней на их надежность и на эколого-экономические показатели дизеля. Проанализированы данные предыдущих экспериментальных и расчетных исследований в этом направлении. Описан экспериментальный стенд и выбраны циклы испытаний. Выявлены закономерности указанного воздействия при учете модели эксплуатации транспортного средства и управлении углом опережения подачи топлива. По результатам исследования даны рекомендации по комплексному улучшению показателей экологичности и топливной экономичности дизеля и выбрано направление дальнейших исследований.

EXPERIMENTAL STUDY OF THE POSSIBILITY OF IMPROVEMENT ECOLOGICAL AND ECONOMIC INDICATORS AND RELIABILITY OF TRANSPORT DIESEL ENGINES

O.M. Klymenko, V.O. Pyl'ov, S.V. Oboznyj, O.M. Lomakin

The paper studies the experimental investigation of the influence of regulation the pistons temperature state on their reliability and on the ecological and economic indicators of diesel engine. Analyzed data from previous experimental and theoretical research in this direction. Described experimental stand and test cycles are selected. Revealed laws of this impact with allowance for the operation model of the vehicle and management of fuel supply advance angle. According to a study made recommendations for the complex improving of ecological compatibility performance and fuel efficiency of a diesel engine and selected the direction of future research.

УДК 621.43.016.4

А.П. Марченко, В.В. Пильов

МОДЕЛЮВАННЯ НЕСТАЦІОНАРНОГО ВИСОКОЧАСТОТНОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО СТАНУ ПОРШНЯ ДВЗ З ТЕПЛОІЗОЛЬОВАНОЮ ПОВЕРХНЕЮ КАМЕРИ ЗГОРЯННЯ

У статті викладено методику моделювання тривимірного нестационарного високочастотного температурного стану теплоізольованого поршня, засновану на розбивці тіла поршня на області тривимірної стаціонарної та одновимірної нестационарної теплопровідності. Проаналізовано теплові потоки в поверхневому шарі поршня. Підтверджено допустимість прийнятого припущення щодо можливості знехтування їх складовою паралельною поверхні камери згоряння. Рекомендовано виділення збільшеної кількості зон задання граничних умов по поверхні камери згоряння порівняно до стаціонарної задачі теплопровідності.

Постановка проблеми

Ефективне застосування частково-динамічної теплоізоляції (ЧДТ) поверхні камери згоряння (КЗ) поршня для покращення показників якості двигунів внутрішнього згоряння при їх проектуванні та до-

водці потребує моделювання нестационарного високочастотного температурного стану теплоізольованих поршнів.

Для розв'язання задач стаціонарної та аперіодичної низькочастотної теплопровідності поршня

на сьогодні широко використовують програмні комплекси, що базуються на застосуванні методу скінченних елементів. Однак, моделювання нестационарної високочастотної теплопровідності цим методом приводить до невиправданих витрат машинного часу, бо повинно здійснюватись шляхом виконання багатьох повторних розрахунків до встановлення температурного поля. За нашими оцінками відповідно до можливостей програмного пакету SolidWorks/COSMOSWorks та, наприклад, обчислювальної техніки з процесором Intel Core2Duo 2,2 ГГц та оперативною пам'яттю 4Гб, час, потрібний для моделювання зміни температурного поля поршня протягом одного розрахункового циклу, становить близько десяти годин [1]. При цьому для вирішення задачі у цілому потрібно більше року машинного часу на один розрахунок.

З іншого боку, урахування тонкого шару теплоізоляції на поверхні КЗ також унеможливилося через необхідність внесення в модель хоча б декількох шарів скінченних елементів по її товщині. Загальна кількість елементів при цьому виходить за межі існуючих можливостей. Представлення ж покриття у якості оболонки позбавляє модель здатності враховувати ефект ЧДТ.

Аналіз публікацій

Відомим є ряд спрощених варіантів моделювання нестационарного температурного стану поршня.

Зменшуючи розмірність задачі, виконують вісесиметричний розрахунок, в якому використовується модель поршня лише з двома вимірами [2, 3]. При цьому втрачається інформація щодо температури в коловому напрямку деталі.

Також пропонується двовимірна модель, у якій поршень апроксимується двома прямокутними областями «денця» та «стакану», периметр яких розбивався на вісім зон з постійними чи лінійно-змінними граничними умовами (ГУ) другого роду [4].

З метою отримання нестационарного високочастотного коливання температури T здійснюють подальше спрощення задачі. Воно полягає в окремому розрахунку стаціонарної температури або її низькочастотної зміни \bar{T} у двовимірному [4] або одновимірному [2] вигляді, а також окремо високочастотного коливання

$$\theta = T - \bar{T}. \quad (1)$$

Це коливання визначалось для напівобмеженого тіла за умови відсутності коливання у нескінченності в одновимірному вигляді окремо для кожної характерної зони КЗ.

Для дослідження ефекту ЧДТ КЗ поршня приведена модель не підходить через неврахування

зміни середніх температур матеріалу \bar{T} внаслідок впливу ефекту ЧДТ. Також, при розгляді зон наявності на стінці КЗ паливної плівки, правильний опис взаємодії останньої з напівобмеженим тілом, яке здатне передати паливу нескінченну кількість теплоти, є неможливим.

Розв'язання задачі у подібній постановці, в тому числі при наявності низькотеплопровідного покриття, аналітичним способом здійснювалось у [5]. У цьому випадку отримано окремі вирази θ для основного матеріалу поршня та шару теплоізоляції як функції від теплофізичних характеристик матеріалів, геометрії стінки та параметрів ГУ. В той час, як для традиційного поршня застосовувалась вісесиметрична модель та ГУ 3-го роду, за наявності теплоізоляції вирішення отримано лише для плоского поршня та з експериментально визначеними ГУ 2-го роду.

Чисельне моделювання нестационарного високочастотного температурного стану плоскої стінки з урахуванням ефекту ЧДТ в одновимірному вигляді було виконано у роботах [6, 7]. Але задача в такій постановці можлива лише для зони КЗ, у якій локальний середньоцикловий коефіцієнт тепловіддачі дорівнює середньому по усій її поверхні.

Підсумовуючи, можна стверджувати, що жодна з розглянутих моделей не відповідає в повній мірі потребам задачі пошуку нестационарного високочастотного поля КЗ поршня при наявності на її поверхні теплоізоляції.

Опис методики моделювання

Запропонована нами методика вирішення вказаної задачі передбачає поділ тривимірного тіла поршня на дві розрахункові області – Ω_1 та Ω_2 .

Область Ω_1 представляє собою шар матеріалу товщиною Δ_b , який простягається вздовж поверхонь КЗ та вогневого денця поршня.

Виходячи з припущення про допустимість знехтування тепловими потоками, паралельними поверхні тіла в цій області, температурний стан тут розглядається як одновимірний нестационарний. Йому відповідає наступний вигляд рівняння теплопровідності Фур'є:

$$\rho(x)c(x, T(x, \tau)) \frac{\partial T(x, \tau)}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda(x, T(x, \tau)) \frac{\partial T(x, \tau)}{\partial x} \right) \quad (2)$$

де x, τ – просторова та часова координати;

λ, c, ρ – теплопровідність, теплоємність та густина матеріалу, що залежать від просторової координати x та поточної температури.

Товщину Δ_b пропонується задавати величи-

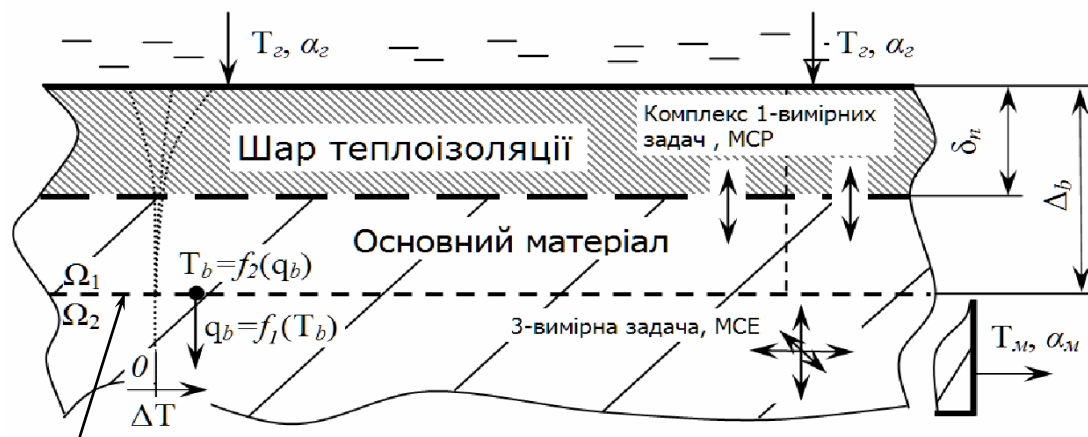
ною 1 мм. На цій глибині наявністю височастотного температурного коливання вже можна знехтувати. Це пов'язано з тим, що викликана циклічність робочого процесу температурна хвиля, розповсюджуючись вглиб тіла, при наявності шару ЧДТ швидко згасає [8].

До області Ω_2 відноситься інша частина тіла деталі. В ній постановка задачі є тривимірною ста-

ціонарною:

$$\lambda(T(x, y, z)) \left(\frac{\partial^2 T(x, y, z)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T(x, y, z)}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T(x, y, z)}{\partial z^2} \right) = 0 \quad (3)$$

Принципову схему розбивки моделі поршня на області, відповідно до вказаного, подано на рис. 1.



Поверхня S

Рис. 1. Принциповий поділ тіла поршня на розрахункові області

Моделювання в області Ω_1 пропонується здійснювати за допомогою метода скінченних різниць, а у області Ω_2 – скінченних елементів. При цьому область Ω_1 додатково розбивається на сукупність розрахункових зон, що відрізняються умовами теплообміну чи значеннями товщин теплоізоляції. Моделювання з використанням рівняння (2) для кожної з цих зон виконується окремо.

Відповідно до загальної задачі, що вирішується, методика передбачає застосування ГУ третього роду. По поверхні тіла, що відноситься до області Ω_1 , вони задаються у вигляді:

$$\rho(0)c(0, T(0, \tau)) \frac{\partial T(0, \tau)}{\partial \tau} = \lim_{x \rightarrow 0} \frac{\lambda(x, T(x, \tau)) \frac{\partial T(x, \tau)}{\partial x} + \alpha_g(\tau)(T_g(\tau) - T(0, \tau))}{x}, \quad (4)$$

де T_g, α_g – нестационарні температура робочого тіла та коефіцієнт тепловіддачі.

По поверхні тіла, що відноситься до області Ω_2 , ГУ задаються у вигляді рівнянь Ньютона та залежать тільки від просторових координат.

Моделювання температурного стану в областях Ω_1 та Ω_2 також вимагає задання ГУ по поверхні їх контакту S. Визначення цих ГУ досягається в процесі ітераційного наближення.

Початковий розрахунок при цьому раціональ-

но виконувати для області Ω_2 , задаючи локальні параметри ГУ третього роду на границі областей згідно формулам:

$$\alpha_{rb} = \alpha_r / \left(1 + \alpha_r \int_{\Delta_b} \frac{dx}{\lambda(x)} \right); \quad (5)$$

$$T_{rb} = T_r. \quad (6)$$

Вони отримані шляхом перетворень над системою рівнянь, що відображає собою відповідність теплових потоків через поверхню КЗ, матеріал тіла в області Ω_1 , а також її межу з областю Ω_2 :

$$\alpha(T_r - T_1) = \frac{T_1 - T_b}{\int_{\Delta_b} \frac{dx}{\lambda(x)}} = \alpha_{rb}(T_{rb} - T_b), \quad (7)$$

де T_1 – локальна середньоциклова температура поверхні камери згоряння, яка при перетворенні підлягає вилученню з рівнянь.

Для вирішення комплексу задач в області Ω_1 для кожної з них ГУ на границі областей пропонується задавати як стаціонарні першого роду:

$$T(\Delta_b) = T_b, \quad (8)$$

де T_b отримується з попереднього розв'язку задачі в області Ω_2 .

У свою чергу, одним з результатів вирішення задач в Ω_1 є значення теплових потоків q_b через поверхню S в кожній розрахунковій зоні. Оскільки вони не дорівнюватимуть аналогічним, властивим

температурному полю в Ω_2 , ці теплові потоки пропонується використовувати в якості ГУ другого роду в наступних ітераціях для Ω_2 :

$$q(x, y, z)|_S = q_b. \quad (9)$$

З огляду на це, ітераційне вирішення задачі можна представити як процес пошуку перетину двох функцій $q_b = f_1(T_b)$ та $T_b = f_2(q_b)$ для кожної з зон виділених в Ω_1 . Для пошуку значень цих функцій використовуються результати моделювання, відповідно в областях Ω_1 та Ω_2 . Точка виконання умов четвертого роду на перетині цих функцій одна, її досягнення з певною точністю і є умовою припинення ітерацій.

Зазначимо, що в кожній ітерації розрахунки мають здійснюватись для усіх зон, виділених в області Ω_1 .

Приклад зміни граничних умов на поверхні S для двох характерних зон поршня дизеля 4ЧН12/14 при $N_e = 100$ кВт, $n = 2000$ хв⁻¹ подано на рис. 2. Використано шар теплоізоляції Al₂O₃ товщиною 0,24 мм.

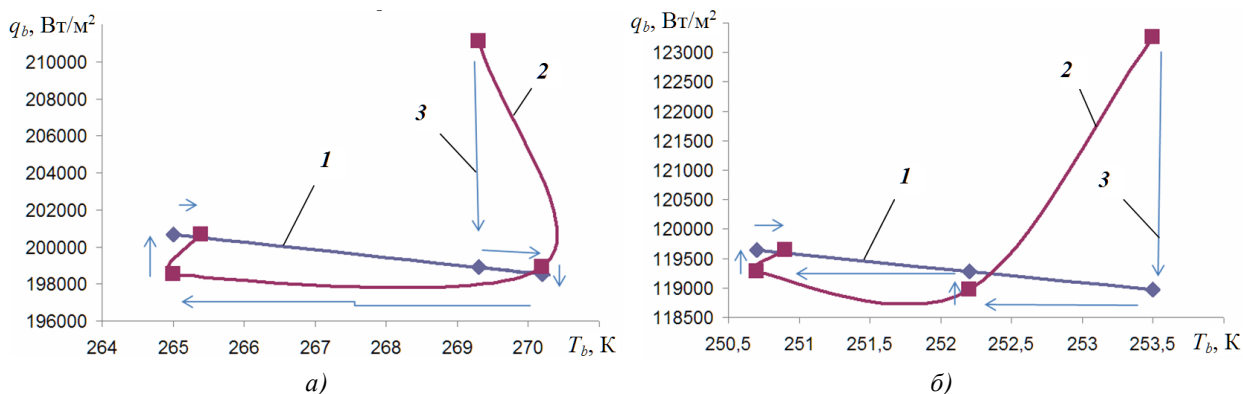


Рис. 2. Зміна ГУ в точках контакту областей Ω_1 і Ω_2 на кромці КЗ (а) та периферії поршня (б) підчас їх ітераційного узгодження: 1 – $q_b = f_1(T_b)$, що визначена при розрахунках в області Ω_1 , 2 – $T_b = f_2(q_b)$, що визначена при розрахунках в області в Ω_2 , 3 – порядок виконання розрахунків

Аналіз теплових потоків

Як вказувалось вище, наведена методика базується на припущенні щодо малості теплових потоків, паралельних поверхні тіла в області Ω_1 . Для перевірки цього нами здійснено аналіз вказаних потоків в тілі поршня традиційної конструкції, виконаної зі сплаву АК12М2МгН.

Порівняння нестационарного височастотного розв'язку задачі теплопровідності при обмеженій глибини проникнення температурної хвилі глибиною $\Delta_b = 1$ мм та стаціонарної задачі ($\Delta_b = 0$) засвідчило, що вплив неврахованих радіальних теплових потоків в області Ω_1 тут не перевищує

Видно, що для кромки КЗ граничні умови досягнули відповідності одна одній вже після другого ітераційного розрахунку. Але моделювання в ній повинно продовжуватись, адже через зміни температури в інших зонах поверхні, на наступних кроках розрахунку цей результат припинив бути узгодженим локальним розв'язком. У цілому, остаточний для усіх зон результат в цьому прикладі був досягнутий за сім ітераційних розрахунків.

Відзначимо, що температурний стан в області Ω_2 , визначений у першій ітерації, подібно [4, 5], буде враховувати лише термічний супротив теплоізоляції. Врахування динамічного ефекту від ЧДТ, який полягає у впливі височастотного коливання температури на її середнє значення, буде досягнуте після здійснення узгодження рішень в розрахункових областях.

Таким чином, запропоновано методику визначення височастотного температурного стану поршня з теплоізоляцією поверхні КЗ. Прикладом її застосування виступають розрахунки, виконані в [9].

1-2 К. При наявності шару ЧДТ на поверхні КЗ через його низьку теплопровідність вплив теплових потоків, паралельних поверхні тіла в області Ω_1 , на результат розрахунків буде ще меншим.

Встановлено, що більша похибка може виникнути через значні перепади значень ГУ, які задаються у вигляді ступеневого закону. Це пов'язано з існуванням біля поверхні тіла, на границях зон задання ГУ, сингулярностей градієнту температур. Швидкість наближення градієнту до його дійсної величини з віддаленням від сингулярності залежить від величини перепаду між значеннями теплових потоків в сусідніх зонах задання ГУ. Вказані

перепади стають значними при недостатній кількості призначених зон. При цьому вказаний градієнт істотно спотворюється.

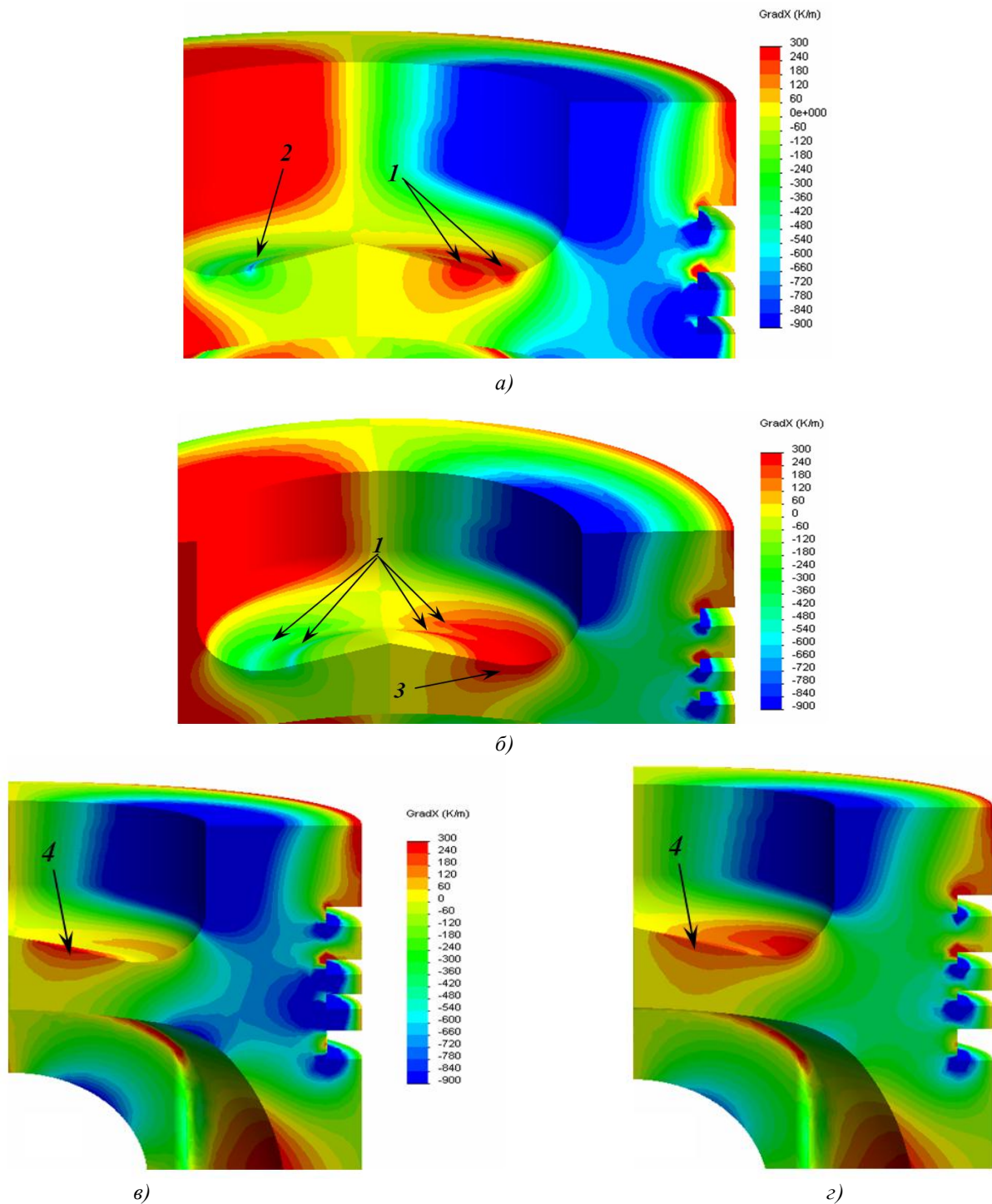


Рис. 3. Радіальні градієнти температури в тілі традиційного поршня при розбивці його поверхні на 9 (а, б) чи 27 (в, з) зон задання ГУ на номінальному $N_e = 100$ кВт, $n = 2000$ хв⁻¹ (а, в) та частковому $N_e = 40$ кВт, $n = 1000$ хв⁻¹ (б, з) режимах роботи дизеля 4ЧН12/14

Це можна побачити на рис. 3, а, б, де аналогічно до [3] наведено результати розрахунків при розбивці вогневої поверхні поршня на 9 зон. Видно, що області 1 підвищеного градієнту не є зв'язними та розміщені вздовж ліній контакту від-

мінних ГУ. Окреме розташування цих зон свідчить, що їх існування викликане не властивими температурному стану деталі причинами, а особливостями методу моделювання. При цьому, в безпосередньому наближенні до ліній контакту відмінних ГУ

розрахункове значення градієнту, наприклад в зоні 2, перевищує 0,9 К/мм, а саме підвищення має місце практично до половини товщини стінки (зона 3).

Проте, вже при виділенні 27 зон задання ГУ (див. рис. 3, в, г) область 4 підвищеного градієнту рівномірно простягається вздовж поверхні КЗ і у більшій мірі відображає його реальне значення.

Висновки

Розроблено методику визначення тривимірного високочастотного температурного стану поршня з шаром теплоізоляції на поверхні КЗ. Вона заснована на розбивці тіла поршня на області тривимірної стаціонарної та одновимірної нестационарної теплопровідності. Узгодження ГУ по поверхні контакту областей та знаходження загального рішення здійснюється шляхом ітерацій.

Досліджено теплові потоки в приповерхнево-му шарі поршня та підтверджено можливість знехтування їх складовою, паралельною поверхні КЗ. Рекомендовано збільшення кількості зон задання ГУ по поверхні КЗ порівняно до стаціонарної задачі теплопровідності.

Подальший напрямок робіт пов'язаний із вдосконаленням викладеної методики для врахування наявності паливної плівки на поверхні шару теплоізоляції, та з дослідженням впливу змінного за товщиною шару теплоізоляції на нестационарний високочастотний температурний стан поршня і пов'язаний з ним робочий процес.

Список літератури:

1. Пылёв В. А. Особенности термомеханического нагружения и учета ресурсной прочности тонкостенного поршня бензинового ДВС / В. А. Пылев, А. В. Белогуб // Двигатели внутреннего сгорания. – 2010. – № 2 – С.74-81. 2. Современные дизели: повышение топливной экономичности и длительной прочности / Абрамчук Ф. И., Марченко А. П., Разлейцев Н. Ф. и др. ; под ред. А. Ф. Шеховцова. – К. : Техника, 1992. – 272 с. 3. Процессы в перспективных дизелях / Шеховцов А. Ф., Абрамчук Ф. И., Крутов В. И. и др. ; под ред. А. Ф. Шеховцова. – Харьков : Изд-во «Основа», 1992. – 352 с. 4. Шеховцов А.Ф. Математическое моделирование теплопередачи в быстроходных дизелях / Шеховцов А. Ф. – Харьков : Вища школа, 1978. – 153 с. 5. Абрамчук Ф. И. Исследование

нестационарной теплопроводности поршня быстроходного форсированного тракторного дизеля : дис. ... канд. техн. наук. : спец. 05.04.02 / Абрамчук Федір Іванович. – Харків, 1978. – 236 с. 6. Шпаковский В. В. Научно-технические основы полипшениа показателей ДВЗ застосуванням поршнів з корундовим шаром : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук : спец. 05.05.0 „Двигуни та енергетичні установки” / Шпаковский В. В. – Харків, 2010. – 37 с. 7. Марченко А. П. Особенности математического моделирования температурной волны в поршне двигателя внутреннего сгорания / А. П. Марченко, В. О. Пилев, В. В. Шпаковский и др. // Двигатели внутреннего сгорания. – 2009. – № 1. – С. 48-53. 8. Влияние керамической теплоизоляции поршня на размах температурной волны / В. В. Шпаковский, А. П. Марченко, О. Ю. Линьков и др. // Авиационно-космическая техника и технология. – 2009. – № 8(65). – С. 111-114. 9. Марченко А. П. Методика моделирования нестационарного высокочастотного температурного состояния поршня двигателя внутреннего сгорания / А. П. Марченко, В. В. Пылёв // Известия высших учебных заведений : Машиностроение. – 2013. – № 5. – С. 58-63.

Bibliography (translited):

1. Pyljov V. A. Osobennosti termomehanicheskogo nagruzhenija i ucheta resursnoj prochnosti tonkostennogo porshnja benzynovogo DVS / V. A. Pylev, A. V. Belogub // Dvigateli vnutrennego sgoranija. – 2010. – № 2 – С.74-81. 2. Sovremennye dizeli: povyshenie toplivnoj jekonomichnosti i dlitel'noj prochnosti / Abramchuk F. I., Marchenko A. P., Razlejcev N. F. i dr. ; pod red. A. F. Shehovcova. – K. : Tjehnika, 1992. – 272 с. 3. Processy v perspektivnyh dizeljah / Shehovcov A. F., Abramchuk F. I., Krutov V. I. i dr. ; pod red. A. F. Shehovcova. – Har'kov : Izd-vo «Osnova», 1992. – 352 с. 4. Processy v perspektivnyh dizeljah / Shehovcov A. F., Abramchuk F. I., Krutov V. I. i dr. ; pod red. A. F. Shehovcova. – Har'kov : Izd-vo «Osnova», 1978. – 153 с. 5. Abramchuk F. I. Issledovanie nestacionarnoj teploprovodnosti porshnja bystrohodnogo forsirovannogo traktornogo dizelja: dys. ... kand. tekhn. nauk. : spets. 05.04.02 / Abramchuk Fedir Ivanovyh. – Kharkiv, 1978. – 236 с. 6. Shpakovskij V. V. Nauchno-tekhnicheskie osnovy polipshennia pokaznykiv DVZ zastošovanniam porshniv z korundovym sharom : avtooref. dys. na zdobuttia nauk. stupenja dokt. tekhn. nauk. : spets. 05.05.0 „Dvyhuny ta enerhetychni ustanovky” / Shpakovskij V. V. – Kharkiv, 2010. – 37 с. 7. Marchenko A. P. Osobennosti matematicheskogo modelirovanija temperaturnoj volny v porshne dvigatelja vnutrennego sgoranija / A. P. Marchenko, V. O. Pilev, V. V. Shpakovskij i dr. // Dvigateli vnutrennego sgoranija. – 2009. – № 1. – С. 48-53. 8. Vlijanie keramicheskoi teploizoljacji porshnja na razmah temperaturnoj volny / V. V. Shpakovskij, A. P. Marchenko, O. Ju. Lin'kov i dr. // Aviacionno-kosmicheskaja tehnika i tehnologija. – 2009. – № 8(65). – С. 111-114. 9. Marchenko A. P. Metodika modelirovanija nestacionarnogo vysokochastotnogo temperaturnogo sostojanija porshnja dvigatelja vnutrennego sgoranija / A. P. Marchenko, V. V. Pyljov // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij : Mashinostroenie. – 2013. – № 5. – С. 58-63.

Надійшла до редакції .01.07.2015 р.

Марченко Андрій Петрович – доктор техн. наук, проф., завідувач кафедри двигунів внутрішнього згорання Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, e-mail: marchenko@kpi.kharkov.ua

Пильов Вячеслав Володимирович – канд. техн. наук., мол. наук. співр. кафедри двигунів внутрішнього згорання Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, e-mail: vv3pylyov@i.ua

МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОГО ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО СОСТОЯНИЯ ПОРШНЯ ДВС С ТЕПЛОИЗОЛИРОВАННОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ

А. П. Марченко, В. В. Пылёв

В статье изложена методика моделирования трехмерного нестационарного высокочастотного температурного состояния теплоизолированного поршня, основанная на разбивке тела поршня на области трехмерной стационарной и одномерной нестационарной теплопроводности. Проанализированы тепловые потоки в поверхностном слое поршня. Подтверждена допустимость пренебрежения их составляющими, параллельными поверхности камеры сгорания. Рекомендовано выделение увеличенного количества зон задания граничных условий по поверхности камеры сгорания по отношению к стационарной задаче теплопроводности.

MODELING OF NONSTATIONARY HIGH-FREQUENCY TEMPERATURE STATE OF INTERNAL COMBUSTION ENGINE PISTON WITH A COATED COMBUSTION CHAMBER SURFACE

A. P. Marchenko, V. V. Pylyov

The simulation method of the three-dimensional nonstationary high-frequency temperature state of the coated piston is presented in the article. It is based on division of piston body to conventional zones of three-dimensional stationary and one-dimensional nonstationary heat conductivity. The piston surface layer heat flows are analyzed. The admissibility of neglecting their components been parallel to combustion chamber surface is confirmed. It is recommended to specify the larger amount of differing boundary conditions zones with respect to stationary heat transfer model.

УДК 621.436

В. А. Пылев, Р. Ариан

ОЦЕНКА ТЕПЛОНАПРЯЖЕННОСТИ ПОРШНЯ С УЧЁТОМ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ В ЗОНЕ КРОМКИ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ

На основе экспериментальных данных получены аналитические зависимости изменения температурного состояния поршня дизеля 4СН12/14 от нагрузки. Идентифицированы граничные условия задачи теплопроводности в осесимметричной и несимметричной постановках. Исследовано влияние учета выборок под клапаны в поршне на его температурное состояние и уровень термических напряжений в зоне кромки камеры сгорания.

Введение

Широкий опыт разработки, испытаний, эксплуатации двигателей различного назначения показывает, что перспектива их форсирования является крайне неблагоприятным фактором, определяющим работоспособность конструкции. При этом обеспечение заданного ресурса (ресурсной прочности) особо термонапряжённых зон деталей камеры сгорания (КС), прежде всего поршней высокофорсированных дизелей, является одной из важнейших задач, требующих своего решения в процессе проектирования двигателей либо их доводки и модернизации.

Задача расчетного исследования теплонапряженного состояния деталей КС, в частности поршней, на стадии их проектирования имеет большое значение. Это объясняется существенным возрастанием тепловых и механических нагрузок на эти детали и, соответственно, необходимостью перехода от концепции гарантированного обеспечения прочности на начальных стадиях проектирования к концепции работы деталей на пределе прочности. Для решения указанной задачи применяют метод

конечных элементов (МКЭ), а в качестве граничных условий (ГУ), как правило, используют ГУ 3-го рода [1-3].

Анализ исследований и публикаций

Расчеты теплонапряженного состояния поршней преимущественно выполняют для 3D-моделей с использованием осесимметричных, реже – и несимметричных ГУ [1-4]. В литературе рекомендуется идентификация состояния поршня на уровне 1-2 %. При температуре кромки 300 °С погрешность расчетов составляет 6К, что соизмеримо с эффектом масляного струйного охлаждения.

В [4] показана необходимость перехода к использованию несимметричных ГУ, что повышает достоверность оценок ресурсной прочности конструкции. Однако, тепловое состояние поршня также определяется его сложной конфигурацией. Поэтому результаты расчетов также зависят от детализации геометрической модели. Для поршня дизеля к такой детализации относят выборки под клапаны. Влияние последних на температурное состояние кромки КС практически не исследовано.