

О.Ю. Лінков, С.А. Кравченко, В.В. Пильов, Д.В. Беднін

## ПОКРАЩЕННЯ ТЕПЛОНАПРУЖЕНОГО СТАНУ ДНИЩА ГОЛОВКИ ЦИЛІНДРІВ СЕРЕДНЬООБЕРТОВОГО ДИЗЕЛЯ

*Розглянуто проблему втрати міцності теплонапружених зон вогневої поверхні головки циліндру тепловозного дизеля типу Д49. Проаналізовано фактори, що впливають на нерівномірний розподіл температур по вогневному дніщу. Вирішення проблеми потребує внесення конструктивних змін до цієї деталі. Наведено результати варіантних розрахунків температур в характерних зонах вогневого дніща. Запропоновано зміни до конструкції головки циліндрів, які дозволять зменшити вплив вагомих факторів на термонапружений стан головки. Розглянуто шляхи подальшої модернізації конструкції головки циліндру.*

### Вступ

На сьогодні ще велика частка тепловозного парку залізниці (як магістральні так і маневрові тепловози) обладнана двигунами типу Д49 (ЧН26/26), які почали випускати з 1975 року. Однією з найбільш проблемних деталей цих двигунів є головка циліндру. При цьому створення головки до двигунів типу Д49, які зможуть відпрацювати строк, відповідний до ресурсу двигуна, досі є актуальним завданням.

Проблематику появи тріщин на вогневному донці головки було описано раніше у [1]. Головки дизеля (рис. 1), що встановлюють на двигуни, відпрацьовують, у кращому випадку, лише 25% від необхідного терміну експлуатації. З цієї причини споживач постійно зацікавлений як в постачанні нових виробів, так і, що особливо актуально, в підвищенні терміну їх експлуатації.



Рис. 1. Переріз головки циліндрів дизеля Д49

### Аналіз проблеми

На рис. 2 наведено розподіл нагару для вогневого дніща головки циліндрів дизеля Д49. Такий розподіл нагару був характерним для декількох головок циліндру, в яких були виявлені тріщини. Слід відмітити що товщина шару нагару сягала 0,25 ... 0,5 мм. У дослідженні [1] було показано, що нагар, який має місце на частині вогневого донця головки, може служити додатковим фактором високої термічної напруженості головки. Враховуючи низьку теплопровідність шару нагару та зменшений тепловий потік від робочого тіла до донця під

нагаром, температура стінки в зоні, вільній від нагару зростатиме. Очікуваний температурний перепад донцем зростає не менш, ніж на 20К. Цю обставину треба враховувати в задачах підвищення довговічності міжклапанних перемичок.

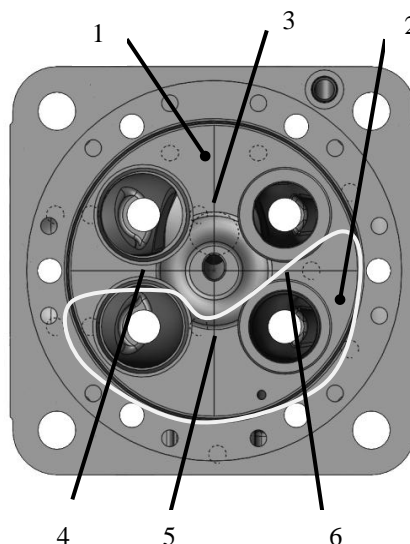


Рис. 2. Характерне розміщення основної зони нагару поверхню донця головки циліндрів дизеля Д49: 1 – зона без нагару; 2 – зона з нагаром; 3 – зона появи тріщини; 4-6 – додаткові контрольні зони

Поява нагару пов'язана з потраплянням твердих частинок на «холодну» поверхню, на якій обриваються ланцюгові реакції горіння та відкладаються продукти неповного згорання [2]. Товщина нагару в таких умовах зростає до моменту стабілізації, коли швидкості відкладання та вигорання стають однаковими.

Поява нагару характерна при роботі двигуна на часткових режимах. При цьому для тепловозних двигунів робота на близьких до холостого ходу режимах складає 50-60% часу загального наробітку [3,4]. При переході двигуна на режим близький до номінального нагар, який утворився на часткових режимах, починає вигоряти до нового стану стабі-

лізації. Це означає, що в зоні появи тріщини (зона 3 за рис. 2) в експлуатації має місце складний характер зміни температур і термічних напружень в часі. На сьогодні існують методики розробки теоретичних нестационарних моделей експлуатації двигунів на основі відповідних стаціонарних [5]. Практичне застосування таких моделей для тепловозних двигунів на сьогодні відсутнє.

З іншого боку, температурний стан вогневого донця головки визначається не тільки інтенсивністю теплопідводу, а і інтенсивністю тепловідводу в охолоджуючу рідину. З рис. 2 видно, що нагароутворення в головці дизеля Д49 має місце в зоні різномірних клапанів. Цей факт свідчить про необхідність корегування інтенсивності теплообміну в порожнинах охолодження головки.

У цілому вирішення проблеми ресурсу головок потребує внесення конструктивних змін до цієї деталі. При цьому слід враховувати усі важливі впливові фактори. Серед них слід відмітити: значний тепловий потік від робочого тіла; тиск робочого тіла, що сягає 12 МПа та більше; нерівномірне тепловідведення в систему охолодження; наявність нагару на частині вогневої поверхні.

Розв'язання поставленої задачі в такій постановці на сьогодні є значною науковою проблемою. Тому на початковому етапі робіт виконано аналіз температурного стану головки.

**Виклад основного матеріалу** Основним чинником погіршення теплонапруженого стану та зменшення ресурсу вогневого донця головки циліндру є відсутність достатнього охолодження у зоні форсунки (рис. 3) та нерівномірне тепловідведення в охолоджуючу рідину, що обумовлене особливостями виготовлення деталі.



Рис. 3. Зона форсунки головки циліндрів дизеля Д49 з боку

За додатковий чинник слід приймати нерівномірний розподіл нагару поверхнею вогневого донця.

З цієї причини аналізу температурного стану головки циліндрів передувала розробка альтернативної конструкції, для якої виконано основний обсяг розрахункових експериментів.

Запропонована нова конструкція відрізняється від серійної розміщенням форсунки в тонкостінному вставному стакані та організованим перерозподілом потоків охолоджуючої рідини порожнинами головки.

Розрахункове дослідження виконано в стаціонарній постановці щодо потужності дизеля 1470 кВт при частоті обертання колінчастого валу 1000 хв<sup>-1</sup>. Миттєві в часі граничні умови (ГУ) третього роду задачі теплопровідності встановлювались за даними робочого процесу відповідно до методики [6]. Середні за цикл середні по поверхні головки циліндрів ГУ задавались з урахуванням рекомендацій [7].

Для випадку без нагару ГУ з боку вогневого донця приймалися:  $\alpha=204 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ ,  $T=863\text{К}$ .

На даному етапі дослідження для випадку з нагаром динамічний ефект теплоізоляції [8] не враховувався. Тут використання підходів [1] отримано наступні значення ГУ. В зоні 2 (див. рис.2) при товщині нагару 0,25 мм  $\alpha=200 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ , в зоні 1, що є вільною від нагару,  $\alpha=206 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ . Температура робочого тіла для обох зон –  $T=892\text{К}$ .

Для поверхонь охолодження ГУ приймалися відповідно до роботи [9]. З боку охолодження донця в зоні 2 коефіцієнт тепловіддачі приймався незмінним і дорівнював  $\alpha=1700 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ . В зоні 1 з метою моделювання організованих потоків охолоджуючої рідини він варіювався в межах 1100...1700 Вт/(м<sup>2</sup>К). Температура охолоджуючої рідини для цих зон призначалась незмінною і дорівнювала  $T=363\text{К}$ .

Теплофізичні властивості спеціального чавуну приймалися як температурозалежні.

Результати розрахунків для зони 3, в якій з'являються тріщини, та додаткових зон 4-6 подано в табл. 1.

Таблиця 1. Температурний стан головки циліндрів при різній інтенсивності охолодження зони 1, °С

| $\alpha$ ,<br>Вт/(м <sup>2</sup> К) | Номер зони |     |     |     |
|-------------------------------------|------------|-----|-----|-----|
|                                     | 3          | 4   | 5   | 6   |
| 1100                                | 280        | 263 | 236 | 352 |
| 1300                                | 275        | 263 | 236 | 352 |
| 1500                                | 270        | 263 | 236 | 352 |
| 1700                                | 267        | 263 | 236 | 351 |

З таблиці видно, що інтенсифікація охолодження в зоні 1 привела до зменшення температури в зоні 3 відповідної міжклапанної перемички на 13°C. В інших міжклапанних перемичках температурний стан залишається незмінним. При цьому в зонах 3 та 4 температури стали практично однаковими. Разом з цим виникає застереження щодо появи тріщин в зоні 6. Унеможливлення цього недоліку передбачає інтенсифікацію теплообміну в зоні 6 та зменшення інтенсивності теплообміну в зоні 5.

### Висновки

В роботі розглянуто проблематику втрати міцності міжклапанних перемичок головки циліндру тепловозного дизеля типу Д49. Проаналізовано фактори, що впливають на нерівномірний розподіл температур по вогневому днищу.

Вирішення проблеми потребує внесення конструктивних змін до цієї деталі. Наведено результати варіантних розрахунків температур в характерних зонах вогневого днища.

Запропоновано зміни до конструкції головки циліндрів, які дозволять зменшити вплив вагомих факторів на термонапружений стан головки. Розглянуто шляхи подальшої модернізації конструкції головки циліндру. На нову конструкцію головки циліндру подано заявку на патент.

Подальший напрямок робіт пов'язаний з аналізом рівня термічних напружень в міжклапанних перемичках головки та врахування ефекту частково-динамічної теплоізоляції нагару.

### Список літератури:

1. Линьков О. Ю. Оценка влияния нагара на температурное состояние днища головки цилиндров среднеоборотного дизеля [Текст] / О. Ю. Линьков, В. В. Пылёв, С. А. Кравченко // Двигатели внутреннего сгорания. – 2016. – №1. – С. 29-33. 2. Кавтарадзе Р. З. Локальный теплообмен в поршневых двигателях [Текст]: Учеб. пособ. для вузов / Кавтарадзе Р. З. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 472 с. 3. Єроценков С. А. Підвищення паливної економічності тепловозного дизеля 4Д80Б [Текст] / С. А. Єроценков, О. Г. Крушедольський, В. М. Зайончковський, М. І. Сергієнко // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – 2002. – Вип. 51. – С. 3-15. 4. Єроценков С. А. Вибір конструктивних параметрів дизеля Д80 та його системи випуску при модернізації тепловозів М62 [Текст] / С. А. Єроценков, О. Г. Крушедольський, В. М. Зайончковський, М. І. Сергієнко // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – 2000. – Вип. 43. – С. 3-10. 5. Пылева Т. К. Разработка теоретических нестационарных моделей нагружения двигателей машин различного назначения [Текст] / Т. К. Пылева, В. Т. Турчин // Двигатели внутреннего сгорания. – 2007. – №1. – С. 125-132. 6.

7. Mollenhauer K. Handbook of diesel engines [Текст] / K. Mollenhauer, H. Tschoeke. – Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010. – 636 p. 7. Дьяченко Н. Х. К определению граничных условий при моделировании температурных полей в поршнях ДВС [Текст] / Н. Х. Дьяченко, А. К. Костин, М. М. Бурин // Энергомашиностроение. – 1968. – №4. – С. 18-21. 8. Марченко А. П. Моделирование нестационарного высокочастотного температурного stanu поршня ДВЗ з теплоізолюваною поверхнею камери згорання [Текст] / А. П. Марченко, В. В. Пильов // Двигатели внутреннего сгорания. – 2015. – №2. – С. 41-47. 9. Шеховцов А. Ф. Разработка конечно-элементной модели теплонапряженного и деформированного состояния головки цилиндров быстроходного дизеля [Текст] / Шеховцов А. Ф., Тринев А. В., Авраменко А. Н. // Двигатели внутреннего сгорания. – 2007. – №1. – С. 20-30.

### Bibliography (transliterated):

1. Linkov, O.U., Pylyov, V.V., Kravchenko, S.O. (2016) "The estimation of carbon deposit influence on the temperature state of the middle speed diesel cylinder head", Internal combustion engines ["Otsinka vplyvu naharu na temperaturnyi stan dentsia holovky tsylindriv seredneobertovoho dyzelia"], Dvyhately vnutrenneho shoranyia] №1. pp. 29-33. 2. Kavtaradze, R.Z. (2007), "Local heat transfer in piston engines" Textbook for high schools ["Lokalnyi teploobmen v porshnevyykh dvigatelyakh"], Ucheb. posob. dlya vuzov], MSTU them. N.E. Bauman, Moscow, 472 p. 3. Eroschenkov, S.A., Krushedolskiy, O.G., Zayonchkovskiy, V.M., Sergienko, M.I. (2002) "Increase of fuel efficiency of locomotive diesel 4D80B", Collection of scientific works ["Pidvishchennya palivnoyi ekonomichnosti teplovoznogo dizelya 4D80B"], Zbirnik naukovih prats], UkrDAZT, Kharkiv, No. 51, pp. 3-15. 4. Eroschenkov, S.A., Krushedolskiy, O.G., Zayonchkovskiy, V.M., Sergienko M.I. (2000) "The choice of design parameters D80 diesel engine and its exhaust system in the modernization of locomotives M62", Collection of scientific works ["Vibir konstruktivnih parametrov dizelya D80 ta yogo sistemi vipusku pri modernizatsiyi teplovoziv M62"], Zbirnik naukovih prats], UkrDAZT, Kharkiv, No. 43, pp. 3-10. 5. Pyleva, T.K., Turchin, V.T. (2007) "Development of theoretical nonstationary models for loading engines of machines of various purposes" Internal combustion engines ["Razrabotka teoreticheskikh nestatsionarnykh modeley nagruzeniya dvigateley mashin razlichnogo naznacheniya"] Dvyhately vnutrenneho shoranyia] №1. pp. 125-132. 6. Mollenhauer, K., Tschoeke, H. (2010) "Handbook of diesel engines" Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin, 636 p. 7. Dyachenko, N.H., Kostin, A.K., Burin, M.M. (1968) "To the determination of boundary conditions in the simulation of temperature fields in ICE pistons" Power Engineering ["K opredeleniyu granichnykh usloviy pri modelirovanii temperaturnykh poley v porshnyakh DVS"] Energomashinostroyeniye], No. 4, pp. 18-21. 8. Marchenko, A.P., Pylyov, V.V. (2015) "Simulation of a nonstationary high-frequency temperature state of a piston of internal combustion engines with a heat-insulated surface of a combustion chamber" Internal combustion engines ["Modelyuvannya nestatsionarnogo visokochastotnogo temperaturnogo stanu porshnya DVZ z teploizolovanoyu poverhneyu kameri zgoranyia"] Dvyhately vnutrenneho shoranyia] №2. pp. 41-47. 9. Shehovtsov, A.F., Trinev, A.V., Avramenko, A.N. (2007) "Development of a finite element model of the heat-stressed and deformed state of the high-speed diesel engine head" Internal combustion engines ["Razrabotka konechnoelementnoy modeli teplonapryazhnogo i deformirovannogo sostoyaniya golovki tsylindrov bystrohodnogo dizelya"] Dvyhately vnutrenneho shoranyia] №1. pp. 20-30.

Надійшла до редакції 05.07.2017 р.

Линьков Олег Юрійович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри двигунів внутрішнього згорання Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, e-mail: oleglinkov76@gmail.com

**Пильов Вячеслав Владимирович** – канд. техн. наук, старший викладач кафедри теплотехніки та енергоефективних технологій Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, e-mail: vv3pylyov@i.ua

**Кравченко Сергій Олександрович** – канд. техн. наук, старший науковий співробітник, старший науковий співробітник кафедри двигунів внутрішнього згорання Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, e-mail: dvskhpi2016@gmail.com.

**Фатєєв Андрій Вікторович** – аспірант кафедри двигунів внутрішнього згорання Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна.

**Беднін Дмитро Валерьевич** – студент кафедри двигунів внутрішнього згорання Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, e-mail: bednind@gmail.com.

### УЛУЧШЕНИЕ ТЕПЛОАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ДНИЩА ГОЛОВКИ ЦИЛИНДРОВ СРЕДНЕОБОРОТНОГО ДИЗЕЛЯ

*О.Ю. Линьков, С.А. Кравченко, В.В. Пильов, Д.В. Беднин*

Рассмотрена проблема потери прочности теплонапряженных зон огневой поверхности головки цилиндра теплового дизеля типа Д49. Проанализированы факторы, влияющие на неравномерное распределение температур по огневому днищу. Решение проблемы требует внесения конструктивных изменений в этой детали. Приведены результаты вариантных расчетов температур в характерных зонах огневого днища. Предложены изменения в конструкции головки цилиндров, которые позволят уменьшить влияние весомых факторов на термонапряженное состояние головки. Рассмотрены пути дальнейшей модернизации конструкции головки цилиндра.

### IMPROVEMENT OF THE HEAT-SUPPRESSED STATUS OF THE CYLINDER HEAD OF THE MEDIUM-SPEED DIESEL

*O.U. Linkov, S.O. Kravchenko, V.V. Pylyov, D.V. Bednyn*

The problem of loss of strength of heat-stressed zones of the fire surface of the cylinder head of a locomotive diesel D49 is considered. The factors influencing the uneven distribution of temperatures along the fire bottom are analyzed. Solving the problem requires making constructive changes to this detail. The results of variational calculations of temperatures in the characteristic zones of the fire bottom are presented. Changes are proposed in the design of the cylinder head, which will reduce the influence of influencing factors on the thermally stressed state of the head. The ways of further modernization of the cylinder head design are considered.

УДК 621.43.016.4

DOI: 10.20998/0419-8719.2017.2.10

*В.В.Белозёров, И.Б.Казак, А.К.Олейник, С.А.Кравченко*

### ВЛИЯНИЕ МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРЕНИЯ И ИЗНОСА МАТЕРИАЛОВ СОПРЯЖЕНИЯ КОЛЕНЧАТЫЙ ВАЛ-ВКЛАДЫШ ДВИГАТЕЛЕЙ ТИПА Д100 И Д80

*В работе приведены результаты экспериментальных исследований взаимодействия рабочих поверхностей пары трения коленчатый вал – вкладыш. Для повышения триботехнических характеристик трущихся поверхностей антифрикционный слой АМО1-20 стале-алюминиевого вкладыша Д80 методом микродугового оксидирования был преобразован на глубину 20-25 и 60-70 мкм. Испытания образцов проводились на машине трения СМТ-1 и СМЦ-2 по методике ступенчатого нагружения. Полученные результаты показали, что коэффициент трения  $f_{тр}$  увеличивается в 3 – 5 раз по сравнению со слоем АМО1-20 без оксидирования, но задир – и износостойкость пары трения существенно возросла.*

#### Введение

В настоящее время одной из актуальных задач является проблема повышения надежности и долговечности сопряжения коленчатый вал-вкладыш дизелей мощностного ряда Д100 и Д80, выпускаемых ГП «Завод им. В.А. Малышева». Как было установлено ранее, наиболее перспективным вариантом для вкладышей подшипников коленчатого вала является изготовление их из биметаллической стале-алюминиевой полосы с антифрикционным слоем из сплава АМО1-20 (медь 1%, Sn 20%). Такого типа вкладыши получили широкое распро-

странение в автотракторной промышленности и на протяжении многих лет эксплуатации показали наиболее высокие характеристики по долговечности, коррозионной и усталостной прочности. Однако опыт их применения в производстве двигателей типа Д100 и Д80 на ГП «Завод им. В.А. Малышева», а также на двигателях энергоагрегатов для специальной техники показал, что надежность сопряжения коленчатый вал-вкладыш является недостаточной и требует существенной доработки. В процессе приработки рабочая поверхность стале-алюминиевого вкладыша имеет недостаточную