

Національний технічний університет
"Харківський політехнічний інститут"

Авраменко Андрій Миколайович

УДК 621.43.062(04)

**ПОЛІПШЕННЯ ТЕПЛОАПРУЖЕНОГО СТАНУ ГОЛОВОК
ЦИЛІНДРІВ ФОРСОВАНИХ ДИЗЕЛІВ ШЛЯХОМ ЛОКАЛЬНОГО
ОХОЛОДЖЕННЯ**

Спеціальність 05.05.03 – двигуни та енергетичні установки

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків - 2008

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі "Двигуни внутрішнього згоряння" Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут", м. Харків.

Науковий керівник: кандидат технічних наук

Триньов Олександр Володимирович,
Національний технічний університет
"Харківський політехнічний інститут",
м. Харків, доцент кафедри двигунів
внутрішнього згоряння.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, доцент

Олійник Олексій Васильович,
Національний аерокосмічний університет ім.
М.С.Жуковського "Харківський авіаційний інститут",
м. Харків, професор кафедри конструкцій
авіаційних двигунів.

кандидат технічних наук

Грицюк Олександр Васильович,
Казенне підприємство "Харківське конструкторське
бюро з двигунобудування", м. Харків, заступник
генерального конструктора з НДР – головний
конструктор.

Захист відбудеться 22 травня 2008 р. о 13⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.13 у Національному технічному університеті "Харківський політехнічний інститут" за адресою: м. Харків, вул. Фрунзе, 21, кафедра "Двигуни внутрішнього згоряння", ауд. 11.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут".

Автореферат розісланий 21 квітня 2008 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

В.О.Пильов

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Підвищення вимог до конструкцій сучасних ДВЗ пов'язано, насамперед, зі збільшенням рівня форсування, поліпшенням економічних та екологічних показників ДВЗ.

При цьому удосконалення існуючих та розробка перспективних конструкцій ДВЗ не можлива без використання CAD/CAE/CAM-технологій, які дозволяють у стислі терміни розробити працездатну конструкцію деталі, вузла і двигуна в цілому. Цим забезпечується потрібний рівень якості та конкурентоспроможність розробки.

Розвиток новітнього двигунобудування вимагає проведення комплексних досліджень теплонапруженого стану (ТНС) найбільш навантажених деталей камери згоряння. В першу чергу до таких деталей можна віднести головку циліндрів, її окремі зони, а також деталі випускного клапанного вузла.

Проведення ідентифікації розрахункових моделей, що дозволить зробити достовірні висновки про якісні і кількісні зміни складових теплонапруженого та деформованого стану головки циліндрів, які спостерігаються при зростанні рівня форсування у сучасних ДВЗ.

Перспективний рівень форсування автотракторних дизелів по середньому ефективному тиску P_e досягає та перевищує 1,8 - 2,1 МПа, а для тепловозних - $P_e = 2,1 - 2,3$ МПа. Такий високий рівень форсування, у порівнянні з минулими роками (для автотракторних $P_e = 1,1$ МПа, тепловозних $P_e = 1,2$ МПа) неминуче погіршує умови роботи деталей камери згоряння внаслідок суттєвого збільшення величини складових теплонапруженого та деформованого стану головки циліндрів.

Дослідженням теплообмінних процесів в головці циліндрів та клапанному вузлі займалися такі відомі вчені, як проф. Г.Б. Розенбліт, проф. М.Д. Чайнов, проф. М.Х. Дяченко, проф. О.К. Костін, проф. А.Ф. Шеховцов, проф. Є.І. Третьак та інші. В роботах цих авторів увага приділялася аналізу теплового стану деталей клапанного вузла та головки циліндрів. При цьому невизначеними залишалися умови протікання теплообмінних процесів в парі стрижень клапана - направляюча втулка, в зоні міжклапанної перетинки головки циліндрів та вплив на ці процеси такого засобу поліпшення теплонапруженого стану, як локальне охолодження.

Оскільки інформація про вирішення кола окреслених питань саме таким шляхом у літературних джерелах практично відсутня, то тему та відповідні дослідження, які складають зміст дисертації, слід вважати актуальними.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Робота виконана на кафедрі ДВЗ НТУ "ХПІ" у рамках бюджетної теми МОН України "Розробка узагальноної теорії та методів підвищення тривалої міцності та ресурсної безвідмовності перспективних транспортних двигунів внутрішнього згоряння вітчизняного виробництва" 2006 - 2008 рр. (ДР № 0106U005156), здобувач був виконавцем розділів IV, VIII, XI.

Мета і завдання дослідження. Мета дисертації полягає у розробці на основі розрахунково-експериментальних досліджень рекомендацій, направлених на зниження максимальних температур, напружень та деформацій головок циліндрів форсованих дизелів шляхом локального охолодження.

Для досягнення цієї мети вирішувалися наступні завдання:

- уточнення моделей теплонапруженого та деформованого стану головок циліндрів автотракторного та тепловозного ДВЗ для випадку використання локального охолодження зони перетинки між отворами під сідла клапанів;
- розробка вузлової моделі клапанного вузла з урахуванням взаємодії складових елементів;
- проведення моторного експерименту з дослідження умов роботи пари стрижень клапана - направляюча втулка при застосуванні локального повітряного охолодження;
- фізичне моделювання локального повітряного охолодження перетинки між отворами під сідла клапанів на оригінальному безмоторному стенді;
- розрахунково-експериментальне дослідження теплонапруженого стану (ТНС) головок тракторного та тепловозного дизелів штатного та модернізованого виконання;
- розробка рекомендацій з поліпшення ТНС клапанного вузла та головки циліндрів форсованих ДВЗ.

Об'єкт дослідження - тепловий та напружено-деформований стан головок циліндрів ДВЗ, а також тепловий та деформований стан клапанного вузла.

Предмет дослідження - визначення впливу локального повітряного охолодження на зниження максимальних температур, напружень та деформацій найбільш теплонапружених елементів головок циліндрів.

Методи дослідження: експериментальні методи застосовані для дослідження теплового стану головки циліндрів та деталей клапанного вузла, визначення зазору в парі стрижень клапан - направляюча втулка. Основні методи проведеного експериментального дослідження - термометрія та осцилографування з використанням індуктивних датчиків зміни зазору у парі стрижень клапана - направляюча втулка. Розрахункові методи використовувались для уточнення значень граничних умов (ГУ) задачі теплопровідності на ділянках теплообмінної поверхні досліджуваних деталей шляхом розв'язання оберненої задачі теплопровідності, визначення теплонапруженого стану деталей за допомогою методу скінчених елементів (МСЕ).

Наукова новизна одержаних результатів:

1. Уточнено комплекс моделей теплонапруженого та деформованого стану головок циліндрів автотракторного та тепловозного дизелів, для випадку використання локального охолодження зони перетинки між отворами під сідла клапанів.

2. Вперше створено вузлову модель клапанного вузла з урахуванням взаємодії складових елементів.

3. Вперше отримано результати експериментально-розрахункової оцінки впливу локального повітряного охолодження на теплонапружений та деформований стан головки циліндрів та клапанного вузла форсованого дизеля.

Практичне значення одержаних результатів:

1. Для дослідження умов роботи пари стрижень клапана - направляюча втулка запропонована методика, яка надає можливість конструктору обирати раціональні значення зазору у парі стрижень клапана - направляюча втулка, знизити витрати мастила на вигорання в клапанному механізмі та прогнозувати умови роботи цієї пари при збільшенні термомеханічного навантаження, характерного для сучасних форсованих дизелів.

2. Проведено комплексну оцінку ефективності і доцільності використання локального повітряного охолодження для поліпшення ТНС головки циліндру та клапанного вузла форсованих дизелів з урахуванням енергетичних витрат.

3. Сформульовані рекомендації з поліпшення ТНС клапанного вузла та головки циліндрів форсованих дизелів.

4. Зазначені результати передані для впровадження і використання ДП “Завод імені Малишева”, науково-дослідній лабораторії кафедри ДВЗ НТУ “ХПІ”, а також використовуються у навчальному процесі при підготовці студентів спеціальності 7.090210 - двигуни внутрішнього згорання в НТУ “ХПІ”.

Особистий внесок здобувача.

Особистий внесок здобувача складає:

- уточнення комплексу моделей теплонапруженого та деформованого стану головки циліндрів автотракторного дизеля 4ЧН 12/14 (СМД-23) та головки циліндру тепловозного дизеля 16ЧН 26/27 (Д80) для випадку використання локального охолодження зони перетинки між отворами під сідла клапанів;
- розробка вузлової моделі клапанного вузла з урахуванням взаємодії складових елементів;
- проведено експериментальне дослідження теплового стану пари стрижень клапана - направляюча втулка в умовах локального охолодження та визначення характеру зміни зазору в цій парі в залежності від режиму навантаження;
- експериментальне дослідження впливу матеріалу направляючої втулки (бронзового сплаву БрАЖ9-4) на тепловий стан пари стрижень клапана - направляюча втулка;
- експериментальне дослідження зміни тиску відпрацьованих газів в зазорі стрижень клапана - направляюча втулка залежно від режиму роботи дизеля;
- проведено розрахунково-експериментальне дослідження впливу локального повітряного охолодження деталей клапанного вузла та головки;

Апробація результатів дисертації.

Результати дисертаційного дослідження доповідалися на XIII та XV: Міжнародних науково-технічних конференціях “Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров’я (Харків, 2005 р., 2007 р.). Щорічно тези окремих положень дисертації було представлено на Міжнародному конгресі двигунобудівників (Крим – Рибаче - Україна, 2004 - 2007 р.).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 16 робіт, з них 12 статей у фахових виданнях ВАК України та 4 патенти України.

Обсяг і структура роботи. Дисертація складається з вступу, 5 розділів, висновків, 2 додатків. Повний обсяг дисертації складає 239 сторінки; з них 25 ілюстрації за текстом; 65 ілюстрацій на 65 сторінках; 17 таблиць на 16 сторінках; 2 додатки на 22 сторінках; 79 найменувань використаних літературних джерел на 9 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації з урахуванням тенденцій розвитку двигунобудування, зокрема використання технології автоматизованого проектування ДВЗ. Актуальність полягає в уточненні умов протікання теплообмінних процесів в парі стрижень клапана - направляюча втулка, в зоні міжклапанної перетинки головки циліндрів, у визначенні впливу на ці процеси локального охолодження.

У першому розділі визначено комплекс розрахункових моделей теплонапруженого та деформованого стану побудованих на основі методу скінчених елементів (МСЕ), який є найбільш розповсюдженим методом аналізу ТНС деталей ДВЗ. Розрахунковий аналіз проводиться з використанням програмного комплексу ANSYS. В розділі наводиться характеристика МСЕ та основні рівняння розрахункових моделей. Для розрахунку температурного поля головки циліндрів та клапанного вузла використовується рівняння стаціонарної теплопровідності у вигляді:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_x \frac{\partial t}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda_y \frac{\partial t}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda_z \frac{\partial t}{\partial z} \right) + Rt + Q = 0, \quad (1)$$

$$t|_{s_t} = t_0, \quad (2)$$

$$q|_{s_q} = - \left(\lambda_x \frac{\partial t}{\partial x} n_x + \lambda_y \frac{\partial t}{\partial y} n_y + \lambda_z \frac{\partial t}{\partial z} n_z \right), \quad (3)$$

$$\alpha \bar{t} - t_{cep} |_{s_\alpha} = - \left(\lambda_x \frac{\partial t}{\partial x} n_x + \lambda_y \frac{\partial t}{\partial y} n_y + \lambda_z \frac{\partial t}{\partial z} n_z \right), \quad (4)$$

де t - температура; Q - внутрішнє джерело теплоти; R - внутрішнє джерело

теплоти, пропорційне температурі; α - коефіцієнт тепловіддачі на поверхні S_{α} ; t_{cep} - температура середовища; $\lambda_x, \lambda_y, \lambda_z$ - коефіцієнти теплопровідності в напрямку вісей анізотропії, для випадку ізотропії $\lambda_x = \lambda_y = \lambda_z$; n_x, n_y, n_z - направляючі косинуси зовнішньої нормалі; q - тепловий потік на межі S_q .

Граничні умови (4) відповідають теплообміну з зовнішнім середовищем по закону Ньютона.

Для випадку граничних умов 3-го роду та відсутності внутрішніх джерел теплоти рішення знаходимо шляхом мінімізації відповідного функціоналу:

$$\Phi(t) = \frac{1}{2} \iiint_V \left(\lambda_x \left(\frac{\partial t}{\partial x} \right)^2 + \lambda_y \left(\frac{\partial t}{\partial y} \right)^2 + \lambda_z \left(\frac{\partial t}{\partial z} \right)^2 \right) dv + \frac{1}{2} \iint_S \alpha (t - t_{cep})^2 dS \rightarrow \min \quad (5)$$

На сьогоднішній день основні труднощі з використанням математичних моделей теплового стану деталей головки циліндрів та клапанного вузла для практичних цілей полягають у складності визначення граничних умов 3-го роду α і t_{cep} . Процес уточнення потребує проведення комплексу взаємопов'язаних розрахунково-експериментальних досліджень. Складність поставленої задачі полягає також і у відсутності інформації в літературних джерелах про характер протікання реальних теплообмінних процесів в парі стрижень клапана – направляюча втулка, зоні міжклапанної перетинки, про вплив локального охолодження на ці процеси.

При рахунковому аналізі теплонапруженого та деформованого стану головки циліндрів та клапанного вузла розглядаються тільки ізотропні матеріали. Розрахунок напружено - деформованого стану клапанного вузла та головки циліндрів виконується за допомогою залежностей (6 - 8):

$$\sigma = D \cdot \varepsilon_0, \quad (6)$$

де σ - вектор напруження; ε_0 - вектор деформацій; D - матриця жорсткості.

$$\begin{aligned} \varepsilon_x &= \alpha_x \Delta T + \frac{\sigma_x}{E_x} - \frac{\nu_{xy} \sigma_y}{E_x} - \frac{\nu_{xz} \sigma_z}{E_x}, \\ \varepsilon_y &= \alpha_y \Delta T - \frac{\nu_{xy} \sigma_x}{E_x} + \frac{\sigma_y}{E_y} - \frac{\nu_{yz} \sigma_z}{E_y}, \end{aligned} \quad (7)$$

$$\varepsilon_z = \alpha_z \Delta T - \frac{\nu_{xz} \sigma_x}{E_x} - \frac{\nu_{yz} \sigma_y}{E_y} + \frac{\sigma_z}{E_z},$$

$$\varepsilon_{xy} = \frac{\sigma_{xy}}{G_{xy}}, \varepsilon_{yz} = \frac{\sigma_{yz}}{G_{yz}}, \varepsilon_{xz} = \frac{\sigma_{xz}}{G_{xz}}, \quad (8)$$

де $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$ - деформації в напрямку осей x, y, z ; $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ - напруження в напрямку осей x, y, z ; ε_{xy} - деформації зсуву в площині xy ; σ_{xy} - напруження зсуву в площині xy ; G_{xy}, G_{yz}, G_{xz} - модулі зсуву відповідно в площинах xy, yz, xz , при цьому $\alpha_x = \alpha_y = \alpha_z$ - коефіцієнти лінійного розширення для ізотропного матеріалу.

Зазначимо, що модель ТНС клапанного вузла створюється саме як вузлова, тобто розглядається взаємодія клапана, сідла клапана та направляючої втулки. Не зважаючи на більшу складність такої побудови, необхідність проведення додаткових експериментальних досліджень для визначення характеру теплової та механічної взаємодії деталей в парі стрижень клапана - направляюча втулка, вузлова модель значно підвищує точність розрахунків, про що свідчить, наприклад, проведений аналіз публікацій.

Вузлова модель передбачає уточнення ГУ задачі теплопровідності для серійної та охолоджуваної конструкції клапанного вузла. Ці конструктивні варіанти відрізняються кількістю відповідних ділянок поверхні теплообміну, на яких уточнюються значення ГУ.

На основі проведеного аналізу та розрахунків обґрунтовано вибір кількості таких ділянок. Так для серійної конструкції клапанного вузла автотракторного дизеля 4ЧН 12/14 кількість ділянок становить 31, а для охолоджуваної конструкції - 37. Для серійної конструкції клапанного вузла тепловозного дизеля 16ЧН 26/27 кількість становить 33, а охолоджуваної - 39.

Розроблена вузлова модель ТНС клапанного вузла може бути використана, як при удосконаленні існуючих конструкцій, так і при розробці нових перспективних варіантів.

У другому розділі розглядається експериментально-розрахункове дослідження теплового стану деталей клапанного вузла на моторному стенді з автотракторним дизелем 4ЧН 12/14. Дослідження проведено для уточнення ГУ задачі теплопровідності при моделюванні ТНС клапанного вузла шляхом вирішення зворотної задачі теплопровідності, ідентифікації моделі, яка включала, по-перше, визначення теплового стану деталей клапанного вузла шляхом термометрії та, по-друге, визначення характеру радіальних та вертикальних переміщень клапана в направляючій втулці в залежності від режимів навантаження.

Термометрія випускних клапанів та направляючих втулок була виконана при роботі дизеля по навантажувальній характеристиці на 6 режимах, починаючи від режиму холостого ходу до режиму максимального крутного моменту при $n = 1600 \text{ хв}^{-1}$ ($N_e = 0; 9,92; 19,84; 39,68; 59,52; 79,36 \text{ кВт}$).

В експерименті було оцінено вплив локального повітряного охолодження випускного клапана та направляючої втулки на тепловий стан клапанного вузла, визначено додаткові енергетичні витрати двигуна.

В експерименті за допомогою хромель-алюмелевих термопар визначалась одночасно температура випускного клапана та направляючої втулки для 3-го та 4-го циліндрів (чотири термопари по клапану та три термопари по направляючій втулці). Клапанний вузол 4-го циліндра охолоджувався, був основним в проведеному дослідженні, а клапанний вузол 3-го циліндра - контрольним, серійним.

Сигнали від термопар оброблялись за допомогою цифрового вольтметру А565. Для передачі сигналу, що передавався за допомогою переривчастого струмознімача в електричне коло було паралельно включено конденсатор, ємність якого попередньо розраховувалась. В експериментальному дослідженні для передачі сигналів від термопар, розташованих в випускних клапанах 3-го та 4-го циліндрів, використовувався переривчастий струмознімач, показаний на рис. 1.

Для експериментального дослідження впливу локального повітряного охолодження на тепловий стан клапанного вузла було модернізовано серійну головку циліндрів дизеля 4 ЧН12/14. Для підводу стисненого повітря до випускного клапана та направляючої 4-го циліндру внесені такі конструктивні зміни: була знята технологічна заглушка в тілі головки та дооброблені направляюча втулка та випускний клапан.

Стиснене повітря від компресора через ресивер та штуцер поступало в порожнину, утворену внутрішньою розточкою в направляючій втулці та стрижнем клапана, а далі по свердленням в стрижні клапана витікало в порожнину під клапанною кришкою.

Для ідентифікації розрахункової моделі охолоджуваного стисненим повітрям випускного клапана та направляючої втулки була виконана їх термометрія на моторному стенді для стаціонарних режимів роботи при надлишковому тиску охолоджуючого повітря $P_{нов} = 0,1 - 0,3 \text{ МПа}$.

За результатами термометрії були збудовані залежності температури випускного клапана та направляючої втулки від навантаження для неоохолоджуваних та охолоджуваних варіантів клапанів та втулок. Оцінено похибки вимірювання температури, які знаходяться в допустимих межах.

Зміна температури в контрольних точках серійного та охолоджуваного випускних клапанів, серійної та охолоджуваної направляючих втулок представлена на рис. 2 та рис. 3. Так для варіанта охолоджуваного клапана (рис. 2) на режимі з $n = 1600 \text{ хв}^{-1}$, $N_e = 79,36 \text{ кВт}$ та надлишковому тиску охолоджуючого повітря $P_{нов} = 0,1 \text{ МПа}$ зниження температури у контрольних точках складо: точка 1 - $40 \text{ }^\circ\text{C}$, точка 2 - $125 \text{ }^\circ\text{C}$, точка 3 - $79 \text{ }^\circ\text{C}$ точка, 4 - майже без змін.

Для охолоджуваної повітрям направляючої втулки (Рис. 3) на цьому ж режимі навантаження зниження температури у контрольних точках склало: точка 1 - 14°C , точка 2 - 15°C , точка 3 - 16°C .

Як зазначалося, в роботі проведена також оцінка енергетичних витрат потужності дизеля на функціонування системи локального повітряного охолодження. В якості джерела стисненого повітря може розглядатись штатний привідний поршневий компресор, який створює на вході в систему локального охолодження надлишковий тиск $P_{нов} = 0,1 - 0,3 \text{ МПа}$. У цьому випадку значення витрат охолоджувача G_6 у перерахунку на чотири випускні клапани (дизель 4 ЧН 12/14) змінюються в залежності від навантаження, але витрати потужності двигуна не перевищують $0,4 - 0,6\%$ від N_e .

Для ідентифікації вузлової моделі клапанного вузла та порівняльного розрахунково-експериментального аналізу змінення зазору в парі стрижень клапана - направляюча втулка в залежності від навантаження було проведено експериментальне дослідження.

Для контролю радіальних та вертикальних переміщень клапана в направляючій втулці використовувались індуктивні датчики, а для прив'язки до положення колінчастого вала - датчик верхньої мертвої точки індукційного типу. Три датчика радіальних переміщень було встановлено по висоті направляючої втулки в площині перекладки клапана з боку випускного колектора.

Експериментально визначене змінення зазору у парі стрижень клапана - направляюча втулка, біля нижнього торця втулки, для положення коли клапан знаходиться у відкритому положенні при роботі дизеля по навантажувальній характеристиці від режиму $N_e = 0$ до $N_e = 79,36 \text{ кВт}$ склало $0,018 - 0,007 \text{ мм}$ залежно від навантаження.

Шляхом вирішення зворотної задачі теплопровідності з використанням експериментальних даних уточнено значення ГУ теплообміну для ділянок серійного та охолоджуваного клапанного вузла.

Значення коефіцієнту тепловіддачі α для ділянок серійного клапанного вузла дизеля 4ЧН 12/14 змінюється від 50 до $3000 \text{ Вт/м}^2\text{К}$, а температура $t_{сер}$ від 60 до 750°C . Для ділянок серійного клапанного вузла дизеля 16ЧН 26/27 α змінюється від 2 до $2300 \text{ Вт/м}^2\text{К}$, $t_{сер}$ змінюється від 75 до 790°C , в залежності від розташування виділеної ділянки.

Для охолоджуваного клапанного вузла дизеля 4ЧН 12/14 значення коефіцієнту тепловіддачі α змінюється від 50 до $3000 \text{ Вт/м}^2\text{К}$, а температури $t_{сер}$ від 40 до 750°C .

Для охолоджуваного клапанного вузла дизеля 16ЧН 26/27 α змінюється від 2 до $2300 \text{ Вт/м}^2\text{К}$, $t_{сер}$ змінюється від 40 до 790°C , в залежності від розташування виділеної ділянки.

З використанням розробленої вузлової моделі клапанного вузла було виконано розрахунок температур, інтенсивностей напружень та оцінено мінімальні значення зазору в парі стрижень випускного клапана - направляюча втулка дизеля 4 ЧН12/14 для варіантів з існуючим та перспективним рівнем форсування. Результати розрахунку наведені в табл. 1

Таблиця 1

Результати розрахунку ТНС клапанного вузла дизеля 4 ЧН12/14

		Існуючий рівень форсування ($P_e = 0,9$ МПа)				
		Точки	1	2	3	Зазор у парі
		Показники	$t, ^\circ\text{C}$	$t, ^\circ\text{C}$	$\sigma_i, \text{МПа}$	$\Delta_{min}, \text{мм}$
Серійний клапанний вузол		105	235	83	$3 \cdot 10^{-4}$	
Охолоджувані повітрям $P_{пов} = 0,1$ МПа	Клапан	85	170	85	$1,2 \cdot 10^{-3}$	
	Втулка	100	235	83	$1,5 \cdot 10^{-3}$	
	Сумісне	75	170	86	$2 \cdot 10^{-3}$	
Перспективний рівень форсування ($P_e = 2,1$ МПа)						
Серійний клапанний вузол		130	305	100	-	
Охолоджувані повітрям $P_{пов} = 0,1$ МПа	Клапан	100	220	102	$0,7 \cdot 10^{-3}$	
	Втулка	128	305	100	$0,9 \cdot 10^{-3}$	
	Сумісне	85	220	104	$1,3 \cdot 10^{-3}$	

У третьому розділі уточнено моделі, які дозволяють проаналізувати ТНС головки циліндрів автотракторного та тепловозного ДВЗ для випадку використання локального охолодження зони перетинки між отворами під сідлами клапанів. Модель з достатньою точністю дозволяє враховувати наявність у вогневому днищі каналів системи локального охолодження, як засобу зниження термічних напружень.

Проаналізовані проблеми руйнування найбільш теплонапруженого фрагменту головки циліндрів - перетинки між отворами під сідла клапанів. Встановлено, що такий дефект, як прогорання та тріщини перетинки між отворами під сідла клапанів зустрічаються, в головках циліндрів, як вітчизняного, так і зарубіжного виробництва.

Виникнення такого дефекту пояснюється насамперед значними температурними градієнтами, що виникають у вогневому днищі головки під час роботи двигуна.

Розробка комплексу моделей теплонапруженого та деформованого стану головки циліндрів складається з таких основних етапів: створення геометричної моделі в тримірній постановці, створення скінченоелементної моделі, розробки схеми призначення та саме призначення ГУ задач теплопровідності та механіки, виконання розрахунків та їх аналіз. Наведені етапи є визначальними для кожної головки циліндрів дизелів різних типів.

Скінченоелементна модель головки циліндрів автотракторного дизеля 4ЧН 12/14 представлена на рис.5, а головки циліндру тепловозного дизеля 16ЧН 26/27 на рис.6.

При призначенні ГУ задач теплопровідності по ділянках теплообмінної поверхні розрахункових моделей було проаналізовано результати відомих розрахунково-експериментальних досліджень професорів Г.Б. Розенбліта, М.Д. Чайнова, М.Х. Дьяченка та інш. При розробці схеми ГУ задач теплопровідності були використані експериментальні данні термометрії головок циліндрів, виконаної на кафедрі ДВЗ НТУ “ХПІ”.

Здобувачем розроблена розрахункова модель головки циліндрів дизеля 4ЧН 12/14 та головки дизеля 16ЧН 26/27 з системою каналів локального повітряного охолодження зони вогневого днища (охолоджувані сідла клапанів та зона перетинки між сідлами клапанів).

Відомих даних недостатньо для відтворення з задовільною точністю умов теплообміну в каналах локального охолодження, тому ці задачі були вирішені за допомогою фізичного експерименту на безмоторному стенді.

У четвертому розділі наведено результати експериментально-розрахункового дослідження моделювання умов локального повітряного охолодження зони вогневого днища фрагменту головки циліндрів дизеля 4ЧН 12/14. Метою цієї частини дослідження було уточнення ГУ задачі теплопровідності при дослідженні ТНС головки циліндрів з системою локального охолодження вогневого днища, зокрема зони перетинки між сідлами клапанів.

Фрагмент головки циліндрів нагрівався до заданої температури за допомогою плавильної електropечі відкритого типу за рахунок вільної конвекції та теплообміну випромінюванням.

Уточнення значень ГУ задачі теплопровідності по ділянках теплообмінної поверхні каналів локального повітряного охолодження виконано шляхом вирішення зворотної задачі теплопровідності за експериментальними даними термометрії фрагменту головки циліндрів.

Значення ГУ теплообміну по ділянках каналів локального охолодження головки дизеля 4 ЧН 12/14 змінюються: α від 300 до 450 $Вт/м^2К$, а t_{cep} від 30 до 85 $^{\circ}C$.

Температури в контрольних точках порівнювались з експериментальними даними термометрії головки циліндрів дизеля 4ЧН 12/14 на режимі з $N_e = 110$ $кВт$ та $n = 2000$ $хв^{-1}$, проведеної проф. Є.І. Третьяком на кафедрі ДВЗ НТУ “ХПІ”.

Різниця в розподілі температур між експериментальними даними термометрії головки циліндрів 4ЧН 12/14 проф. С.І. Третяка та розрахунковими, відрізняється менше ніж на 3 %, що дозволяє вважати модель адекватною.

Результати розрахунку ТНС та деформацій головки дизеля 4 ЧН12/14 для варіантів з існуючим та перспективним рівнем форсування наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Результати розрахунку ТНС головки дизеля 4 ЧН12/14

		Існуючий рівень форсування ($P_e = 0,9$ МПа)					
		Точки	1	2	1	2	2
		Показники	$t, ^\circ\text{C}$	$t, ^\circ\text{C}$	$\sigma_i,$ МПа	$\sigma_i,$ МПа	$\delta_{\max},$ мм
Серійна головка		315	308	400	360	0,14	
Охолоджувана повітрям	$P_{\text{пов}} = 0,1$ МПа	270	240	375	350	0,09	
	$P_{\text{пов}} = 0,2$ МПа	260	230	350	330	0,07	
	$P_{\text{пов}} = 0,3$ МПа	250	220	300	290	0,06	
		Перспективний рівень форсування ($P_e = 2,1$ МПа)					
Серійна головка		515	470	450	390	0,24	
Охолоджувана повітрям	$P_{\text{пов}} = 0,1$ МПа	423	380	420	370	0,17	
	$P_{\text{пов}} = 0,2$ МПа	416	370	390	360	0,15	
	$P_{\text{пов}} = 0,3$ МПа	412	365	340	325	0,12	

В якості критерію для оцінки напружень, що виникають в головці циліндрів, було обрано інтенсивність напружень.

Отримані в ході експериментально-розрахункового дослідження значення ГУ задачі теплопровідності були використані для проведення уточненого розрахунку теплонапруженого та деформованого стану головки циліндрів дизеля 4ЧН 12/14 з системою локального повітряного охолодження вогневого днища.

Розрахункове температурне поле вогневого днища головки циліндрів автотракторного дизеля 4ЧН 12/14 при роботі дизеля на режимі з $P_e = 0,9$ МПа наведено на рис. 7, а розрахункове температурне поле вогневого днища охолоджуваної повітрям головки циліндрів, для варіанту з надлишковим тиском охолоджуючого повітря $P_{\text{нов}} = 0,1$ МПа наведено на рис. 8.

Розрахункові значення температур вогневого днища головки, для варіантів з надлишковим тиском охолоджуючого повітря $P_{\text{нов}} = 0,1; 0,2; 0,3$ МПа наведено в табл.2.

У п'ятому розділі наведені практичні рекомендації щодо покращення умов роботи головок циліндрів форсованих дизелів.

Сформульовано рекомендації для покращення умов роботи пари стрижень клапана - направляюча втулка: раціональні зазори, режими охолодження, матеріали направляючої втулки та умови змащення.

Основний ефект від застосування системи локального охолодження - зниження температури випускного клапанного вузла і, як наслідок, зменшення різниці температур між сідлами випускного та впускного клапанів.

Це дозволяє розвантажити зону перетинки між отворами під сідла клапанів та знизити температуру вогневого днища головок циліндрів форсованих дизелів.

На конструктивні варіанти по поліпшенню умов роботи клапанного вузла та головки циліндрів було отримано патенти України.

ВИСНОВКИ

У дисертаційному дослідженні розв'язана важлива науково-практична задача - визначення впливу локального повітряного охолодження як засобу зниження максимальних температур, напружень та деформацій головки циліндрів автотракторного дизеля 4ЧН 12/14 та головки циліндра тепловозного дизеля 16ЧН 26/27. Вирішення задачі дозволило одержати наступні наукові і практичні результати:

1. Уточнено комплекс моделей теплонапруженого та деформованого стану головок циліндрів автотракторного та тепловозного ДВЗ, для випадку використання локального охолодження зони перетинки між отворами під сідла клапанів.

2. За результатами розрахунково-експериментального моделювання з використанням уточненого комплексу моделей теплонапруженого та деформованого стану головок циліндрів дизеля 4ЧН 12/14 та дизеля 16ЧН 26/27, отримані значення температур, напружень та деформацій для головок циліндрів при роботі дизелів на теплонапруженому режимі, у тому числі для перспективних рівней форсування.

3. Проведено моторний експеримент з дослідження умов роботи пари стрижень клапана - направляюча втулка при застосуванні локального повітряного охолодження. Для режиму з надлишковим тиском охолоджуючого повітря $P_{нов} = 0,1 \text{ МПа}$ та $N_e = 79,36 \text{ кВт}$ при $n = 1600 \text{ хв}^{-1}$ зниження температури охолоджуваного клапана при навантаженні, близькому до номінального, по стрижню клапана склало в середньому 80 - 125 °С, що дозволило стабілізувати зазор в парі стрижень клапана - направляюча втулка по висоті, поліпшити умови змащення та поліпшити умови роботи клапанного вузла.

4. Створено вузлову модель клапанного вузла, що дозволяє розрахунковим шляхом обґрунтовано обирати раціональні значення зазору в парі стрижень клапана - направляюча втулка

5. Експериментально визначено характер зміни зазору в парі стрижень клапана - направляюча втулка та тиску відпрацьованих газів в зазорі в залеж-

ності від режиму роботи двигуна, що дало змогу уточнити значення ГУ теплообміну по ділянках теплообмінної поверхні пари стрижень клапана - направляюча втулка, ідентифікувати вузлову модель.

6. Проведено фізичне моделювання локального повітряного охолодження перетинки між отворами під сідла клапанів на оригінальному безмоторному стенді та розрахунково-експериментальне дослідження ТНС головок тракторного та тепловозного дизелів штатного та модернізованого виконання.

7. Розроблено варіанти конструкції головок циліндрів дизеля 4ЧН 12/14 та дизеля 16ЧН 26/27 з системою локального повітряного охолодження вогневого днища, що дозволило провести експериментально-розрахунковий аналіз з визначення впливу характеристик локального охолодження на ТНС головок циліндрів.

8. Зниження температури центральної частини вогневого днища на 50 - 80 °С, досягнуто за рахунок локального охолодження, дозволило поліпшити умови роботи головки циліндрів за рахунок зниження максимальних напружень вогневого днища в середньому на 25 - 30 %.

9. Розроблено рекомендації з поліпшення ТНС клапанного вузла та головки циліндрів форсованого дизеля. Технічні рішення з поліпшення умов роботи деталей клапанного вузла та головки циліндрів захищені 4-ма патентами України.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Тринёв А.В., Авраменко А.Н., Амброзик А. Анализ теплонапряженно-го состояния выпускного клапана форсированного тепловозного дизеля. // Двигатели внутреннего сгорания.- Харьков: НТУ “ХПИ”. - 2004. - №1. - С. 58-60. Здобувачем проведені розрахунки полів температур та напружень выпускного клапана тепловозного дизеля.

2. Тринёв А.В., Авраменко А.Н. Моделирование теплонапряженного состояния биметаллического клапана тепловозного дизеля. // Автомобильный транспорт / Сб. науч. тр.- Харьков: ХНАДУ. - 2005. - № 16. - С. 286-288. Здобувачем виконано розрахунковий аналіз полів температур та напружень біметалевого выпускного клапана тепловозного дизеля.

3. Тринёв А.В., Гончар П.Д., Авраменко А.Н. Результаты экспериментального исследования теплового состояния седла выпускного клапана в условиях локального охлаждения. //Вестник науки и техники. - НТУ “ХПИ”, ООО “ХДНТ”. - Харьков: ООО “ХДНТ”. - 2005. - № 1 (20). - С. 27 - 35. Здобувачем проведені розрахунки полів температур варіантів сідел клапанів.

4. Тринёв А.В., Авраменко А.Н. Влияние уровня форсирования рабочего процесса и материала направляющей втулки на изменение зазора в паре клапан – направляющая втулка тепловозного дизеля Д80. //Вестник науки и техники. - НТУ “ХПИ”, ООО “ХДНТ”. - Харьков: ООО “ХДНТ”. - 2005. - № 2-3 (21-22) - С. 41 - 48. Здобувачем визначена залежність зміни зазору в парі стрижень клапана - направляюча втулка в залежності від матеріалу втулки та

форсування двигуна, а також проведено розрахунковий аналіз полів температур в парі.

5. Тринёв А.В., Косулин А.Г., Авраменко А.Н. Использование локально-воздушного охлаждения клапанного узла для форсированных автотракторных дизелей. // Двигатели внутреннего сгорания. - Харьков: НТУ “ХПИ”. - 2005. - № 1. - С. 75-80. Здобувачем проведені розрахунки полів температур варіантів охолоджуваних повітрям випускних клапанів та направляючих втулок в залежності від режиму роботи двигуна.

6. Тринёв А.В., Авраменко А.Н., Москалёв И.А. Оценка влияния геометрии тарелки клапана на теплонапряженное состояние выпускных клапанов автотракторного дизеля. // Двигатели внутреннего сгорания. - Харьков: НТУ “ХПИ”. - 2005. - № 2. - С. 76-80. Здобувачем проведені розрахунки полів температур та напружень варіантів випускних клапанів автотракторного дизеля.

7. Тринёв А.В., Авраменко А.Н. Актуальность исследования теплообменных процессов в сопряжении стержень клапана – направляющая втулка для быстроходных форсированных дизелей. // Вестник науки и техники. - НТУ “ХПИ”, ООО “ХДНТ”. - Харьков: ООО “ХДНТ”. - 2005. - № 4 (23) .- С. 4 - 10. Здобувачем обгрунтована необхідність застосування розрахунково-експериментальних методик для уточнення значень граничних умов в парі стрижень клапана – направляюча втулка.

8. Тринев А.В., Авраменко А.Н. Математическая модель теплонапряженного состояния крышки цилиндра. // Двигатели внутреннего сгорания. - Харьков: НТУ “ХПИ”. - 2006. - № 2. - С. 18 - 28. Здобувачем була розроблена модель теплонапруженого та деформованого стану головки циліндра теплового дизеля Д80.

9. Тринев А.В., Авраменко А.Н. Влияние воздушного охлаждения огневого днища на теплонапряженное состояние крышки цилиндра теплового дизеля. // Автомобильный транспорт / Сб. науч. тр. – Харьков: ХНАДУ. - 2006. - № 20. - С. 88 - 91. Здобувачем була розроблена конструкція головки циліндра з каналами локального охолодження та проведено розрахунок полів температур, напружень та деформацій.

10. Шеховцов А.Ф., Тринев А.В., Авраменко А.Н. Разработка конечно-элементной модели теплонапряженного и деформированного состояния головки цилиндров быстроходного дизеля. // Двигатели внутреннего сгорания. - Харьков: НТУ “ХПИ”. - 2007. - № 1. - С. 20 - 30. Здобувачем була розроблена модель теплонапруженого та деформованого стану головки циліндрів, та проведено розрахунок полів температур, напружень та деформацій.

11. Тринёв А.В., Минак А.Ф., Коваленко В.Т., Авраменко А.Н., Обозный С.В. Экспериментальный анализ теплового состояния втулки выпускного клапана тракторного дизеля. // Двигатели внутреннего сгорания. - Харьков: НТУ “ХПИ”. - 2007. - № 2. С. 15 - 20. Здобувачем проведено моторний експеримент та визначено тепловий стан направляючої втулки.

12. Тринев А.В., Коваленко В.Т., Авраменко А.Н., Сиротин С.А. Расчетно-экспериментальное исследование условий работы сопряжения выпускной клапан – направляющая втулка. // Вестник Национального технического университета “ХПИ”. Сборник научных трудов. Тематический выпуск: Транспортное машиностроение. - Харьков: НТУ “ХПИ”. - 2007. № 33. - С. 184 - 187. Здобувачем була розроблена вузлова модель клапанного вузла, проведено експериментальне дослідження та виконано розрахунок полів температур та деформацій.

13. Випускний клапанний вузол тепловозного дизеля з локальним охолодженням. (Деклараційний патент України № 61381 А) / Шеховцов А.Ф., Триньов О.В., Авраменко А.М. - 2003 010307; Заявл. 14.01.2003; Опубл. 17.11.2003, Бюл. № 11. - 3 с. Здобувачем запропонована відкрита проточна порожнина, виконана зі сторони нижнього торця направляючої втулки клапана.

14. Система локального повітряного охолодження головки циліндрів двигуна з газотурбінним наддувом. Патент України на корисну модель № 13660/ Шеховцов А.Ф., Триньов О.В., Авраменко А.М., Гончар П.Д. - у 2005 09327; Заявл. 04.10.2005; Опубл. 17.04.2006, Бюл. № 4. - 3 с. Здобувачем запропоновано відводити охолоджуюче повітря в зону зі зниженим тиском.

15. Пристрій для визначення витрат мастила на вигорання в клапанному механізмі двигуна внутрішнього згоряння. Патент України на корисну модель № 21935 / Шеховцов А.Ф., Марченко А.П., Триньов О.В., Авраменко А.М., - у 2006 11193; Заявл. 23.10.2006; Опубл. 10.04.2007, Бюл. № 4. - 3 с. Здобувачем запропонована схема підводу мастила до клапанного вузла.

16. Складений клапан двигуна внутрішнього згоряння. Патент України на корисну модель № 24565 / Шеховцов А.Ф., Марченко А.П., Триньов О.В., Авраменко А.М., - у 2007 00197; Заявл. 09.01.2007; Опубл. 10.07.2007, Бюл. № 10. - 3 с. Здобувачем запропоновані теплофізичні параметри біметалевого прошарку, в залежності від матеріалів складеного клапана.

АНОТАЦІЇ

Авраменко А.М. Поліпшення теплонапруженого стану головок циліндрів форсованих дизелів шляхом локального охолодження. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.03 - двигуни та енергетичні установки. - Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків, 2008.

Дисертація присвячена розрахунково-експериментальному аналізу шляхів покращення теплонапруженого та деформованого стану теплонапружених елементів головок циліндрів сучасних перспективних ДВЗ. Як основний засіб зниження складових теплонапруженого та деформованого стану головки циліндрів розглядається локальне повітряне охолодження зони вогневого днища головки, зокрема перетинки між сідлами клапанів, а також охолодження випускних клапанів та направляючих втулок. Проведено розрахунково-

експериментальне дослідження елементів головки циліндрів двигуна 4ЧН 12/14, та розрахункове дослідження головки тепловозного дизеля Д80.

В представленій роботі акцентується увага на необхідності уточнення граничних умов задач теплопровідності та механіки при вирішенні задач теплонапруженого стану елементів головок циліндрів, враховуючи можливості сучасних програмних комплексів.

Ключові слова: двигун внутрішнього згорання, головка циліндрів, вузлова модель, теплонапружений стан, локальне повітряне охолодження.

Авраменко А.Н. Улучшение теплонапряженного состояния головок цилиндров форсированных дизелей путем локального охлаждения. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.03 - двигатели и энергетические установки. - Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", Харьков, 2008.

Диссертация посвящена расчетно-экспериментальному анализу путей улучшения теплонапряженного и деформированного состояния теплонапряженных элементов головок цилиндров современных форсированных ДВС. Как основной способ снижения составляющих теплонапряженного и деформированного состояния головки цилиндров рассматривается локальное воздушное охлаждение зоны огневого днища головки, в частности перемычки между седлами клапанов, а также охлаждение выпускных клапанов и направляющих втулок. Проведено расчетно-экспериментальное исследование элементов головки цилиндров двигателя 4ЧН 12/14 и расчетное исследование головки тепловозного дизеля Д80.

В представленной работе акцентируется внимание на необходимости уточнения граничных условий задач теплопроводности и механики при решении задач теплонапряженного состояния элементов головок цилиндров, учитывая возможности современных программных комплексов.

Для расчетного анализа теплонапряженного и деформированного состояния деталей клапанного узла была разработана узловая модель клапанного узла в трехмерной постановке, которая содержит выпускной клапан, направляющую втулку, седло и фрагмент головки. Направляющая втулка и седло запрессованы во фрагмент головки с посадочным натягом. Для уточнения узловой математической модели были проведены экспериментальные исследования.

При проведении моторного эксперимента была выполнена термометрия выпускных клапанов и направляющих втулок для 3-го и 4-го цилиндров на стенде дизеля 4ЧН 12/14, при работе дизеля по нагрузочной характеристике на 6 эксплуатационных режимах, от режима холостого хода до режима максимального крутящего момента при $n = 1600 \text{ мин}^{-1}$. В ходе эксперимента использовались охлаждаемые и неохлаждаемые варианты выпускных клапанов и направляющих втулок. Предварительно сжатый поршневым компрессором охлаждающий воздух подавался из ресивера по воздухоподводящей втулке,

установленной в сквозное резьбовое отверстие в направляюще втулке, в полость, образованную кольцевой расточкой во втулке и стержнем клапана, и далее по каналам сверления в стержне клапана стравливался в полость подкапанной крышки. В ходе эксперимента контролировались давление, температура и расход охлаждающего воздуха.

Безмоторный эксперимент по моделированию условий локального воздушного охлаждения зоны огневого днища был выполнен с использованием фрагмента головки цилиндров дизеля 4ЧН 12/14. В огневое днище фрагмента головки были установлены шесть хромель-алюмелевых термопар. В огневом днище фрагмента головки цилиндров были выполнены каналы локального воздушного охлаждения для подвода охлаждающего воздуха к перемычке между седлами и к самим седлам впускного и выпускного клапанов. Фрагмент головки цилиндров нагревался до заданного температурного режима при помощи плавильной электропечи открытого типа. Значения температур в контрольных точках сравнивались с экспериментальными данными термометрии блочной головки цилиндров дизеля 4ЧН 12/14 на режиме с $N_e = 110$ кВт.

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, головка цилиндров, узловая модель, теплонапряженное состояние, локальное воздушное охлаждение.

Avramenko A.N. By means of local cooling for improvement of heat-stressed heads cylinders of force diesel engines. - Manuscript.

Thesis for obtaining a scientific degree of the candidate of technical science on a specialty of 05.05.03. - engine and power plants. - National Technical University "Kharkov Polytechnic Institute", Kharkov, 2008.

The dissertation is devoted is settlement - to the experimental analysis of ways of improvement of the heat-stressed and deformed condition of heat-stressed elements head cylinders modern forced engine. As the basic way of decrease making heat-stress that of the deformed condition of the head of cylinders is considered local air cooling a zone of the bottoms of the head, in particular crosspieces between saddles of valves, and also cooling of final valves and directing cartridges. It is carried out it is settlement - an experimental research of elements of the head of cylinders of engine 4ЧН 12/14 and settlement research of the head of diesel engine D80.

In the submitted work the attention to necessities of specification of boundary conditions of problems of heat conductivity and mechanics is accented at the decision problems of a heat-stressed condition of elements head cylinders, taking into account opportunities of modern program complexes.

Key words: internal combustion engine, head of cylinders, nodal model, heat-stressed state, local air cooling.