

Таблица 1. Зависимость эффективной мощности от положения контроллера

п/к	0	1	2	3
Моощность,кВт	134	306	430	558
п/к	4	5	6	7
Моощность,кВт	676	812	960	1104
п/к	8	9	10	11
Моощность,кВт	1220	1400	1552	1770
п/к	12	13	14	15
Моощность,кВт	1965	2160	2340	2540

Заключение

Применение методов математического моделирования для оценки поведения материала в рабочих условиях, как видно, имеет ряд преимуществ. Главным из них является возможность получения непосредственно диаграммы (σ - ϵ) практически на любом этапе эксплуатации, в том числе для проектируемых конструкций. Кроме того, метод математического моделирования обладает большей оперативностью, позволяя в более короткие сроки и с меньшими затратами обрабатывать большее число конструкторских вариантов.

Прогноз долговечности с использованием расчетных данных осуществляется путем анализа опасных сечений с учетом особенностей поведения материала при циклическом деформировании за пределами упругости, а также с учётом влияния температурно-временных эффектов [1,4]. Наиболее полно современной концепции расчетно-экспериментальной оценки долговечности крышек

цилиндров отвечает работа [7]. Располагая кривыми деформирования материала от рабочей нагрузки можно оценить степень поврежденности конструкции на данном этапе и при последующих нагружениях. Уровень остаточных напряжений в детали после некоторого количества циклов также может использоваться для оценки приближения конструкции к опасному состоянию.

Список литературы:

1. Гусенков А.П., Котов П.И. Длительная и неизотермическая малоцикловая прочность элементов конструкций. – М.: Машиностроение, 1988. – 264 с.
2. Чайнов Н.Д., Салтыков М.А., Раенко М.И., Мяжков С.П. Особенности математического моделирования НДС крышки цилиндра форсированного среднеоборотного дизеля. Двигателестроение №4, 2006, С. 8-11.
3. Сальников М.А., Салтыков М.А. Влияние сменности режимов работы в эксплуатации тепловозных дизелей на ресурс деталей цилиндропоршневой группы. Конструирование и эксплуатация оборудования. Двигатели внутреннего сгорания №10, 1983, С. 1-3.
4. Серенсен С.В. Шнейдерович Р.М. Гусенков А.П. и др. Прочность при малоцикловом нагружении. Основы методов расчета и испытаний. Издательство «Наука», 1975. – 284 с.
5. Уравнения состояния при малоцикловом нагружении. Махутов Н.А., Гаденин М.М., Гохфельд Д.А., Гусенков А.П., и др. М.: Наука, 1981. – 243 с.
6. Александров И.И. Исследование условий термической прочности литых материалов для деталей камеры сгорания: Диссертация канд. техн. наук. – Коломна, 1972. –196с.
7. F. Zieher, F.Langmayr, A. Jelatancev, K. Wieser. Thermal Mecyanical Fatigue Simulation of Cast Iron Cylinder Heads. SAE 2005 World Congress. Detroit. p.12.
8. Дульнев Р.А., Котов П.И. Термическая усталость металлов. – М.:Машиностроение, 1980. – 200 с.

УДК 621.43.016.4

А.П. Марченко, д-р техн. наук, В.О. Пильов, д-р техн. наук, В.В. Шпаковский, канд. техн. наук, Пильов В.В., студ.

АНАЛІЗ ВИСОКОЧАСТОТНИХ КОЛИВАНЬ ТЕМПЕРАТУРИ В ПОВЕРХНЕВОМУ ШАРІ ПОРШНЯ З ТЕПЛОІЗОЛЮЮЧИМ ПОКРИТТЯМ

Забезпечення прогресивних питомих показників, насамперед – мінімально можливих витрати па-

лива та викидів шкідливих речовин спонукає дослідників до пошуків таких конструкцій деталей камери

згоряння (КЗ), які значно підсилюють відомі або утворюють нові ефекти впливу на робочий процес двигунів внутрішнього згоряння. Протягом тривалого часу на цьому шляху, окрім іншого, звертається увага на створення двигунів з теплоізолюючими елементами КЗ. Певні позитивні результати щодо підвищення паливної економічності при застосуванні низькотеплопровідних покриттів в різні часи подано в значній кількості робіт, наприклад [1-3]. Однак усі згадані роботи фактично було припинено внаслідок низької довговічності теплоізолюючого шару поверхонь КЗ, яка часто не перевищувала тривалість експериментальних досліджень.

Розробка в НТУ „ХПІ” високоефективної технології утворення на деталях з алюмінієвих сплавів поверхневого корундового шару керованої товщини та позитивні результати ресурсних випробувань поршнів з таким покриттям в реальних умовах експлуатації [4] дозволили розпочати новий етап комплексного наукового пошуку.

Спираючись на загальні теоретичні положення щодо впливу температури поверхні КЗ поршня на показники якості робочого процесу [5-7], одним з напрямів означених досліджень є аналіз впливу матеріалу поверхні на рівень високочастотних коливань температури. У роботі [8] нами встановлено, що утворення на теплосприймаючий високотеплопровідній поверхні КЗ низькотеплопровідного слою певної товщини дозволяє при значному зростанні максимальної миттєвої температури поверхні (понад 100°C) отримати ефект зменшення мінімальної миттєвої її температури при практично незмінному рівні середньоциклової. З цього приводу роботам з аналізу впливу високочастотних коливань температури поверхні КЗ на показники робочого процесу повинні передувати дослідження щодо обґрунтованого вибору можливих параметрів низькотеплопровідного слою.

Метою даної роботи є аналіз високочастотних коливань температури в поверхневому теплоізолюючому покритті поршня та в основному високотеплопровідному його матеріалі під покриттям.

Відповідно до поставленої мети в роботі вирішувалась задача визначення зміни температурного стану матеріалу поверхневого шару поршня на глибині x в залежності від кута повороту колінчастого вала φ та товщини теплоізолюючого покриття δ , $T(\delta, x, \varphi)|_{0 \leq x \leq \delta; x > \delta}$, в умовах високочастотного циклічного теплового навантаження поверхні КЗ на стаціонарному режимі роботи двигуна. Задача вирішувалась у формулюванні виду

$$\frac{\partial T}{\partial \varphi} = \frac{1/6n}{\rho(x) \cdot c(x, T(x, \varphi))} \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda(x, T(x, \varphi)) \frac{\partial T}{\partial x} \right) \quad (1)$$

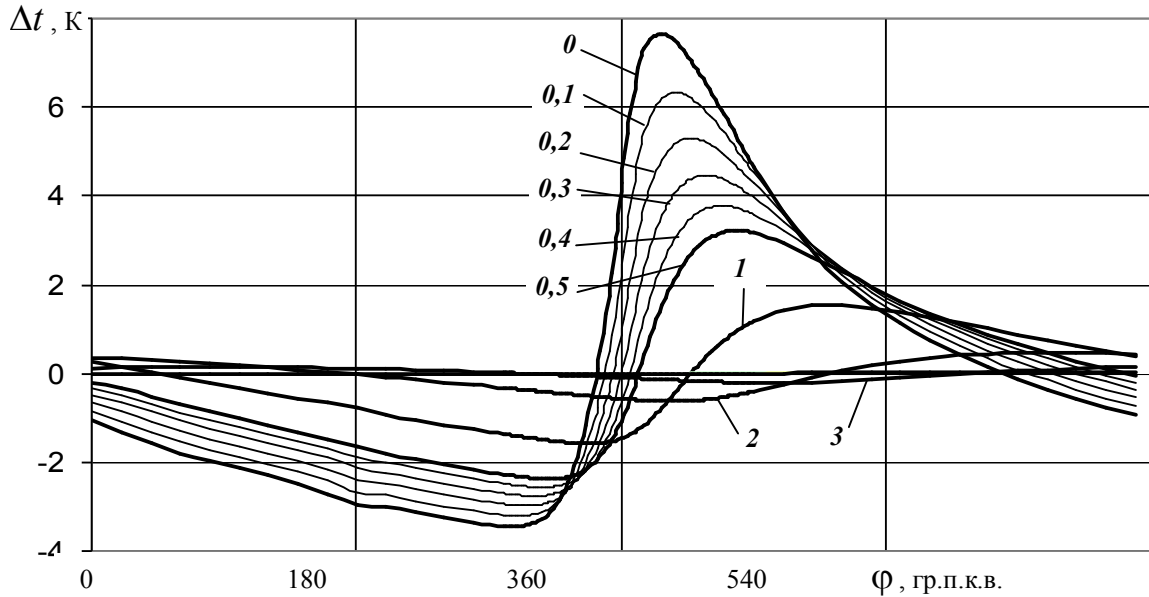
з граничними умовами третього роду $\alpha = f_1(\varphi)$, $T_\infty = f_2(\varphi)$, прийнятими по даним [6] відповідно до теплового навантаження поршня дизеля 6ЧН13/11,5 при $N_e = 130$ кВт та $n = 2100$ хв⁻¹.

В чисельному експерименті за основний високотеплопровідний матеріал обрано поршневий сплав АЛ25. З метою визначення можливого ефекту від застосування низькотеплопровідного покриття коефіцієнт його теплопровідності було прийнято $\lambda = 1$ Вт/(м·К). Інші теплофізичні властивості матеріалів відповідали даним роботи [8]. Дослідження проведено для стінки товщиною 16 мм. Товщина теплоізолюючого покриття δ варіювалась в діапазоні від 0 (поверхня поршня без покриття, базове рішення) до 0,55 мм.

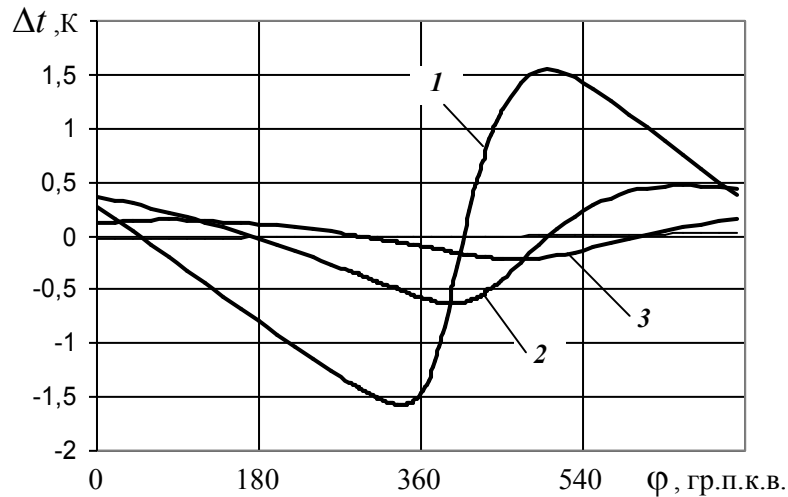
Розв'язання поставленої задачі здійснювалось на основі використання різницевого рівняння явної схеми. Крок розрахунку по координаті x на даному етапі було прийнято 0,1 мм. Відповідно до умови забезпечення стійкості рішення крок по куту повороту колінчастого вала $\Delta\varphi$ не перевищував 1 гр.п.к.в.

На рис.1 подано результати розрахунків для матеріалу поршня без покриття. Тут і далі, на рис.1-4, цифри біля кривих відповідають досліджуваній гли-

бині x в мм. За нульове значення температурної вісі прийнята середньоциклова температура матеріалу на вказаній глибині.



а



б

Рис. 1. Високочастотне коливання температури в поверхневому шарі поршня зі сплаву АЛ25

З рис.1а видно, що на поверхні матеріалу маємо повне коливання температури протягом циклу роботи дизеля, яке дорівнює 11К. При цьому мінімальне значення температури відповідає 285, а максимальне – 385 гр.п.к.в. Просідання і закид температури відповідно дорівнюють $-3,45\text{K}$ та $7,65\text{K}$. Миттєве значення

температури поверхні збігається з середньоцикловим її значенням в 343 та 620 гр.п.к.в. Ці дані є достатньо близькими до результатів роботи [6].

Також видно, що в околі точки $\phi=385$ гр.п.к.в., де температура поверхні є максимальною, на глибині $x=1$ мм миттєве значення температури прак-

тично збігається з середньоцикловим ($\Delta t \approx 0\text{K}$), а на глибині $x=2$ мм вже маємо максимальне просідання температури. Таким чином, в поверхневому шарі поршня існує достатньо складний високочастотний хвильовий процес зміни температурного стану. При цьому для подальшого аналізу звернемо увагу на класичний результат – амплітуда високочастотного коливання температури швидко зменшується з глибиною, а саме коливання практично має місце до величини $x < 3$ мм (див. рис.1б).

При наявності низькотеплопроводного покриття товщиною $\delta=0,05$ мм закид температури поверхні збільшується на 20% і досягає 9,2К при $\varphi=380$ гр.п.к.в. Просідання температури поверхні, що досліджується, а також закони коливання температури при $x \geq 0,1$ мм тут практично не відрізняються від даних рис.1.

Разом з тим фізична картина хвильового високочастотного процесу суттєво змінюється вже при $\delta=0,15$ мм. Ці розрахункові результати подано на рис.2.

З рис. 2а видно, що закид температури поверхні збільшується до значення 248К, що відповідає величині $\varphi=366$ гр.п.к.в. Просідання температури в цьому температурному циклі досягає величини $\Delta t = -37\text{K}$. Водночас рис. 2б свідчить, що в зоні контакту низькотеплопроводного покриття з основним високотеплопроводним матеріалом з боку першого (тобто при $x=0,1$ мм) маємо таку максимальну температуру високочастотного циклу, яка є близькою до відповідної температури базової конструкції, $\Delta t = 6,3\text{K}$. При цьому з боку основного матеріалу, при $x=0,2$ мм, має місце закид температури $\Delta t = 4,4\text{K}$, що на 1К менше, ніж у базової конструкції.

Таким чином, введення низькотеплопроводного покриття тут вагомо змінило характеристики повер-

хневої температурної хвилі та несуттєво вплинуло на високочастотне коливання температури в поверхневому шарі основного матеріалу.

Збільшення товщини покриття до $\delta = 0,25$ мм приводить до подальшої якісної зміни досліджуваного процесу. Тут у порівнянні з попереднім варіантом маємо практично незмінну поверхневу високочастотну температурну хвилю (див. рис.3а) та суттєве зменшення амплітуди коливань температури в зоні контакту покриття з основним матеріалом (рис.3б). Так на глибині $x=0,2$ мм амплітуда температурного коливання складає тільки 2,2К, а при $x=0,3$ мм – 1,8К.

Подальше збільшення товщини покриття веде до практично повного гасіння температурної хвилі саме в матеріалі покриття (див. рис.4).

Повертаючись до рис. 3а слід відзначити, що при $\delta=0,25$ мм миттєве значення температури поверхні збігається з середньоцикловим її значенням в 323 та 520 гр.п.к.в. Це відповідно на 20 та 100 гр.п.к.в менші величини, ніж у базової конструкції.

Останнє свідчить про те, що низькотеплопровідне покриття скорочує інтервал перевищення миттєвої температури поверхні над середньоцикловою, при одночасному фазовому зсуві поверхневої температурної хвилі в бік менших кутів повороту колінчастого вала.

Важливо, що при $\delta = 0,35$ мм миттєве значення температури поверхні збігається з середньоцикловим її значенням вже при 323 та 500 гр. п.к.в., а надалі, навіть при $\delta = 0,55$ мм, ці параметри температурної хвилі залишаються незмінними. Це означає, що при обраних в чисельному експерименті вхідних даних товщина покриття в інтервалі 0,25–0,35 мм являється граничною величиною щодо впливу поверхневого теплоізолюючого шару на високочастотну температурну хвилю поверхні КЗ.

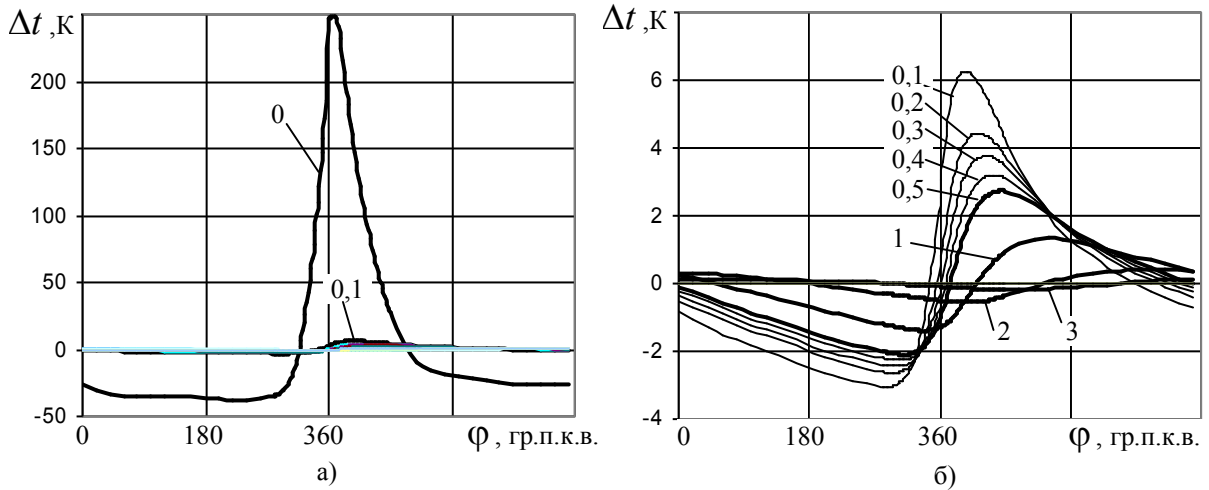


Рис. 2. Високочастотне коливання температури в поверхневому шарі поршня при товщині низькотеплопровідного покриття $\delta = 0,15$ мм

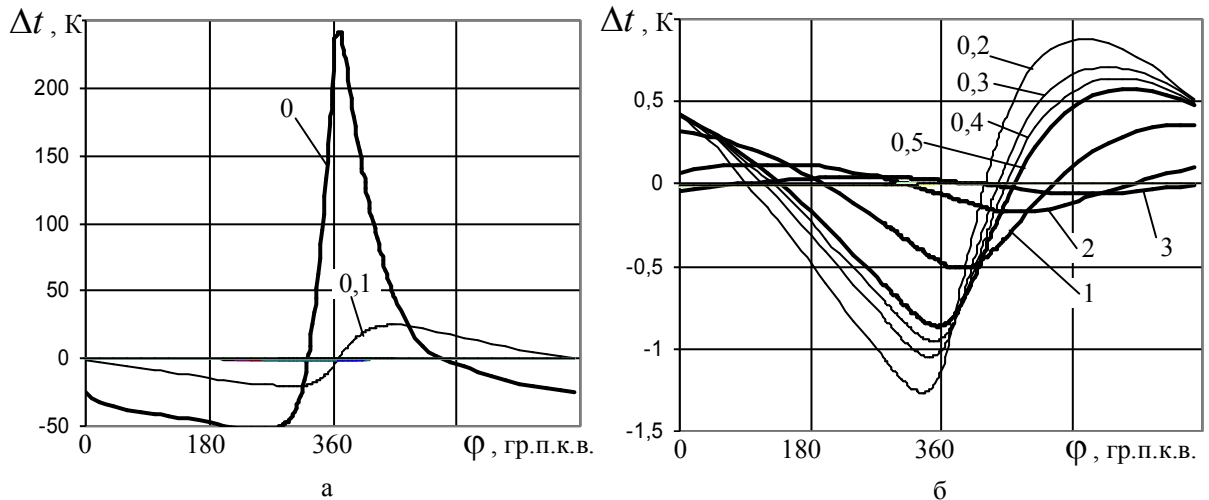


Рис. 3. Високочастотне коливання температури в поверхневому шарі поршня при товщині низькотеплопровідного покриття $\delta = 0,25$ мм

Разом із вказаним вище, застосування покриття приводить до фазового зсуву температурної хвилі в товщі матеріалу покриття та в основному матеріалі поршня в бік більших кутів повороту колінчастого вала. Так, наприклад, з рис. 4 добре видно, що в околі кута повороту колінчастого вала, що відповідає максимальній температурі поверхні, вже на глибині $x=0,1$ мм миттєва температура матеріалу дорівнює середньоциклової. При цьому на глибині $x=0,2$ мм і більше маємо максимум просідання температури.

Вказані хвильові характеристики суттєво впливають на зміни абсолютних значень температури в

циклі високочастотного теплового навантаження поверхні поршня з покриттям. Так на рис.5 подано порівняння розрахункових значень температур поверхні поршня в циклі високочастотного теплового її навантаження для базової конструкції та при зміні товщини покриття δ в інтервалі 0,15-0,35 мм.

Видно, що при достатньо малих товщинах низькотеплопровідного покриття миттєві значення температури його поверхні протягом тактів газообміну можуть бути меншими за відповідну температуру для базової конструкції. За результатами аналізу рис. 2-4 цей ефект має місце саме тоді, коли товщина по-

криття не перевищує глибину затухання температурної хвилі. З іншого боку, на ділянках згоряння-розширення маємо вагоме зростання температури

поверхні. При цьому збільшення товщини покриття приводить до випереджаючого зростання температури під час розширення та випуску.

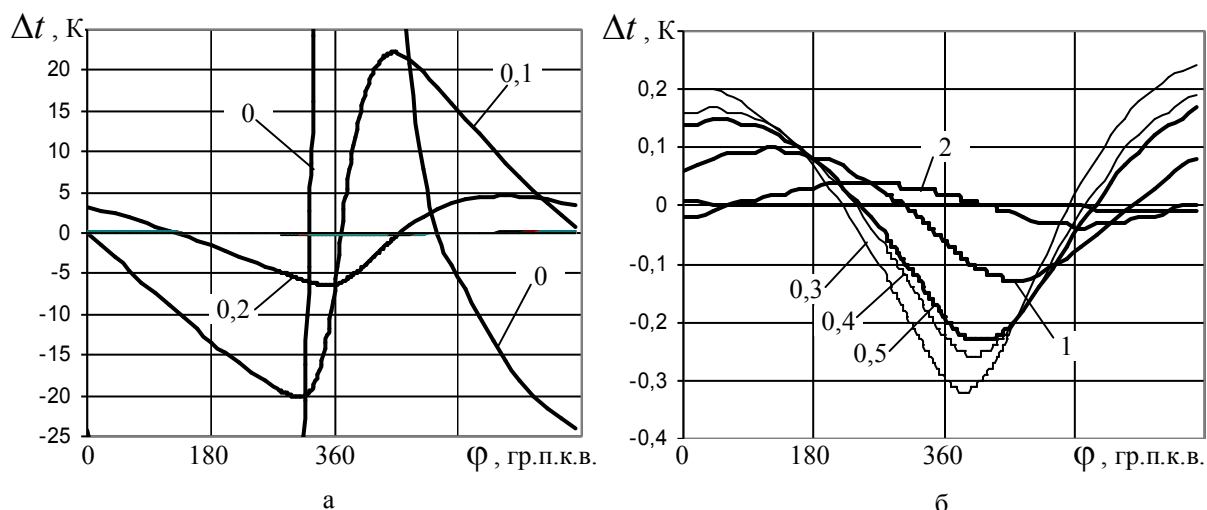


Рис. 4. Високочастотне коливання температури в поверхневому шарі поршня при товщині низькотеплопровідного покриття $\delta = 0,35$ мм

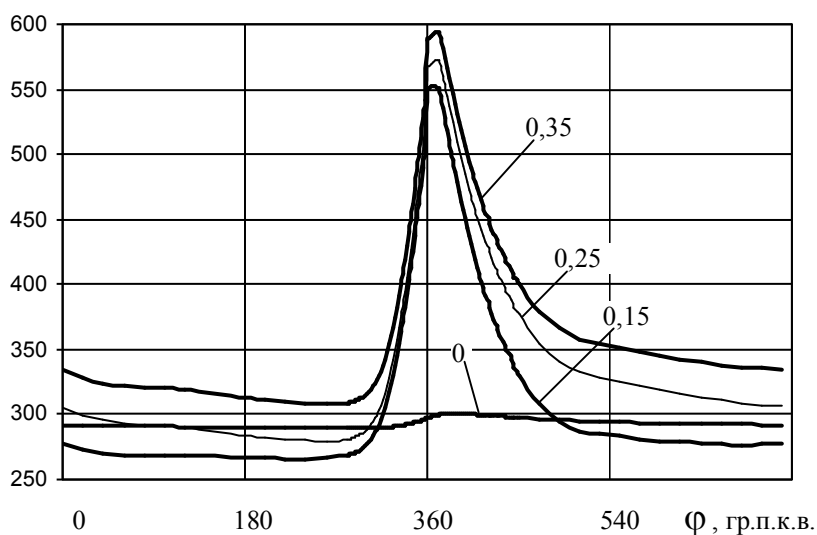


Рис. 5. Високочастотне коливання температури поверхні поршня (цифри біля кривих – товщина теплоізолюючого покриття)

У цілому на основі отриманих результатів можна заключити, що шуканому покращенню показників робочого процесу за рахунок впровадження низькотеплопровідного покриття буде відповідати певна товщина останнього, як результат добору оптимальної високочастотної температурної хвилі на поверхні поршня протягом повного циклу роботи двигуна.

Висновки:

1. На основі даних чисельного експерименту з моделювання високочастотного коливання температури в поверхневому шарі матеріалу поршня з низькотеплопровідним покриттям визначено характеристики температурної хвилі при збільшенні товщини покриття до повного гасіння температурної хвилі в останньому.

2. Встановлено, що миттєві значення температури поверхні КЗ поршня з низькотеплопровідним покриттям в процесі газообміну можуть бути меншими відповідної температури конструкції без покриття тоді, коли товщина низькотеплопровідного покриття не перевищує глибини затухання температурної хвилі.

Подальший напрямок робіт пов'язано з аналізом теплових потоків в поверхневому шарі поршня з низькотеплопровідним покриттям та експериментальною оцінкою впливу теплоізолюючого шару поршня малої товщини на якість протікання робочого процесу дизеля.

Список літератури:

1. Чепиль В.С., Гордиенко Я.И. Исследование влияния термоизолирующего покрытия доньшка камеры сгорания в поршне на параметры рабочего процесса и тепловое состояние двигателя Д20 // Двигатели внутреннего сгорания. Вып. 10. – Харьков: Изд-во ХГУ, 1970. – С. 46-52. 2. Никитин М.Д., Кулик А.Я.

Захаров Н.И. Теплозащитные и износостойкие покрытия деталей дизелей. – Л.: Машиностроение, 1977. – 165 с. 3. Чигиринова Н.М., Чигиринов В.В., Чигиринов В.Е. Оксидные керамические покрытия – эффективная тепловая защита рабочих поверхностей деталей ЦПГ // Автомобильная промышленность. – 2004. – № 6. – С. 30-34. 4. Шпаковский В.В., Марченко А.П., Парсаданов И.В. и др. Повышение ресурса цилиндро-поршневой группы тепловозного дизеля образованием корундового слоя на поверхности поршня // Локомотив информ. – 2007. – С. 28-30. 5. Grot K., Thiemann W. Beitrag zur Brennraumsolierung bei Viertakt Dieselmotoren // Motortechnische Zeitschrift. – 1983. – P. 287-298. 6. Современные дизели: повышение топливной экономичности и длительной прочности / Ф.И.Абрамчук, А.П.Марченко, Н.Ф.Разлейцев и др. / Под общ. ред. А.Ф.Шеховцова. – К.: Техника, 1992. – 272 с. 7. Кавтарадзе Р.З. Локальный теплообмен в поршневых двигателях. – М.: Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 2001. – 592 с. 8. Марченко А.П., Пылев В.А., Шпаковский В.В., Пылев В.В. Эффект влияния малых толщин теплозащитного покрытия поршня на его мгновенную поверхностную температуру // Фундаментальные и прикладные проблемы совершенствования поршневых двигателей. Матер. XI Междунар. научн.-практ. конф. – Владимир: ВГУ, 2008. – С. 220-223.

УДК 621.431

А.В. Грицюк, канд. техн. наук, С.В. Пилипенко, канд. техн. наук, А.А. Мотора, инж.

**ИССЛЕДОВАНИЯ НАГРУЖЕННОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ
ГАЗОВОГО СТЫКА ДВИГАТЕЛЯ 2ДТ**

Эксплуатационная надёжность газового стыка дизелей в системе «блок – головка блока» определяется рядом факторов, в частности:

- равномерностью распределения монтажных удельных давлений по плоскости стыка (конструктивной жёсткостью системы);
- работоспособностью материала прокладки и её приспособленностью к рабочим поверхностям;
- влиянием динамических и квазистатических нагрузок на распределение удельных давлений в стыке;
- порядком и величиной усилия затяжки силовых шпилек.

После выявления в ходе стендовых испытаний случаев нарушения герметичности газового стыка двигателей 2ДТ возникла необходимость в исследовании жёсткостно-прочностных характеристик элементов газового стыка двигателя и назначения условий затяжки, обеспечивающих его работоспособность.

Исследования проводились в двух направлениях:

1. Определение прочности силовых шпилек.
2. Оценка деформативности уплотнённого пакета деталей по уровню усилия и его распределения по стыку "блок - головка".