

М.: Машиностроение, 1986. – 248 с. 11. Тененбаум М.М. Износостойкость конструкционных материалов и деталей машин при абразивном изнашивании. – М.: Машиностроение, 1966. – 331 с. 12. Тененбаум М.М., Бернштейн Д.Б. Моделирование процесса абразивного изнашивания. Моделирование трения и износа: Материалы I межотраслевого научного семинара по моделированию трения и износа. М.: НИИМаш, 1967. – С. 81 – 92. 13. Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбатов В.С. Основы расчетов на трение и износ. – М.: Машиностроение, 1977. – С. 319 – 326. 14. Гавриков М.В., Мазинг Р.И. Применение на наследственно-стареющей модели изнашивания осесимметричной контактной задаче // Трение и износ. – 1989. – Т. 10, №6. – С. 981 – 986. 15. Рыжиков А.Л., Гронянов В.М., Тараканчиков Л.Г. Модель абразивного износа алюмооксидной керамики. //

Трение и износ. – 1991. – Т. 12, № 2. – С. 361 – 364. 16. Сорокатый Р.В. Моделирование поведения трибосистем методом трибоэлементов // Трение и износ. – 2002. – Т. 23, № 1. – С.16 – 22. 17. Федоров С.В. Обобщенная модель трения // Трение и износ. – 1993. – Т. 1, № 3. – С. 460 – 470. 18. Хомак Н.А. О регистрации характерных параметров при проведении программных усталостных испытаний: Сб. науч. тр. // Вопросы технологии контроля и повышения надежности деталей и узлов авиатехники. – К.: РИО КИИГА, 1984. – С. 111 – 117. 19. Лабунец В.Ф., Ворошин Л.Г., Киндратчук М.В. Износостойкие боридные покрытия. – К.: Техника, 1989. – 158 с. 20. Вишневецкий О.А. Модель зависимости величины абразивного износа от линейного. – Вісник НАУ. – 2004. – № 1. – С. 122 – 125.

УДК 621.436

В.О. Пильов, д-р техн. наук, А.Ф. Шеховцов, д-р техн. наук, В.Т. Турчін, інж., В.С. Вікторов, інж., О.В. Просяник, асп.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДА КОНСТРУКТИВНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ПОРШНЯ ДВЗ ЗА СУКУПНІСТЮ КРИТЕРІЇВ ЙОГО ТЕРМОНАПРУЖЕНОСТІ

Подальший розвиток конструкцій дизельних двигунів поряд з підвищенням вимог щодо їх економічності по паливу і маслу та зменшення токсичності відпрацьованих газів невпинно висуває задачі збільшення літрової потужності, і тим самим, зменшення питомих масогабаритних показників. Це, безумовно, приводить до суттєвого зростання термонапруженості деталей камери згоряння (КЗ). Так, наприклад, коефіцієнт теплового навантаження Вгорова, як відношення циліндрової потужності до діаметру циліндра, 30 років тому для кращих тракторних дизелів відповідав

значенню 0,15 кВт/мм [1], а на сьогодні він має значення понад 0,2 кВт/мм, тобто зріс практично на 30%. Таким чином, маємо швидкість зростання згаданого коефіцієнта в середньому 1% на рік. В цілому вказана тенденція суттєво загострює проблему забезпечення надійності й ресурсу усіх деталей КЗ, у тому числі і поршнів, підвищує роль методів математичного моделювання процесів і оптимізації конструкцій.

В [2] за один з ефективних методів підтримки багатокритерійної конструктивної оптимізації поршня за сукупністю критеріїв його термонапруженості

запропоновано використання узагальненої функції бажаності Харрінгтона, яку подано у вигляді:

$$D_{\text{терм}} = \sqrt[n]{d_{t_1} \cdot d_{\Delta t_{1-2}} \cdot d_{t_3}}; \quad (1)$$

$$d_{t_1} = \exp[-\exp(0,099t_1 - 31,24)]; \quad (2)$$

$$d_{\Delta t_{1-2}} = \exp[-\exp(0,195\Delta t_{1-2} - 7,16)]; \quad (3)$$

$$d_{t_3} = \begin{cases} 0,8, & 238^\circ\text{C} \leq t_3 \leq 242^\circ\text{C} \\ \exp[-(18,48 - 0,077t_3)^{0,8}], & t < 238^\circ\text{C}, t_3 > 242^\circ\text{C} \end{cases}, \quad (4)$$

де t_1 – температура поршня в зоні кромки КЗ, $^\circ\text{C}$;

Δt_{1-2} – перепад температур між кромкою КЗ та периферійною зоною вогневої поверхні донця поршня;

t_3 – температура поршня в зоні верхнього поршневого кільця (ПК), $^\circ\text{C}$;

d_{t_1} , $d_{\Delta t_{1-2}}$, d_{t_3} – безрозмірні критерії (часткові функції бажаності) термонапруженості поршня.

При цьому критерії d_{t_1} та $d_{\Delta t_{1-2}}$ визначають рівень тривалої міцності кромки КЗ поршня тракторного дизеля сільськогосподарського призначення, а d_{t_3} – припустимий рівень температур в зоні ПК.

Важливо, що часткові функції бажаності (2)-(4) і, відповідно, узагальнена функція (1) теоретично можуть змінювати свої значення від найкращого, що дорівнює 1, до абсолютно неприйнятного, що дорівнює 0. Водночас за класичним підходом [3] значення узагальненої і часткових функцій рівня „дуже добре” відповідають інтервалу [1;0,8), рівня „добре” – інтервалу [0,8;0,63), рівня “задовільно” – (0,63;0,37], рівня „погано” – (0,37;0,2], а “дуже погано” – (0,2–0]. При цьому в [2] за зону гарантовано працездатних конструкцій поршнів прийнято оцінку якості рівня „добре”, а непрацездатних – „погано”; оцінка „задовільно” – перехідна зона.

Повинно бути ясно, що модель вигляду (1)-(4) є мінімально можливою, а розробка перспективних конструкцій поршнів потребує суттєвого збільшення критеріїв якості конструкцій та відповідного застосування нових достовірних моделей згортки вектора

цих критеріїв до скалярного загального вигляду

$$D = \sqrt[n]{d_1 \cdot d_2 \cdot \dots \cdot d_n}. \quad (5)$$

Тут важливо підкреслити, що використання узагальненої функції бажаності (5) неодмінно передбачає, що коли будь-який частковий критерій d_i , $i=1,2,\dots,n$ має незадовільне значення, то і функція D повинна мати відповідне низьке значення. В крайньому випадку вказана умова завжди є істинною – якщо $d_i = 0$, то $D = 0$. Виконаємо аналіз можливості забезпечення цієї умови при $d_i = 0,2$ та перспективному збільшенні кількості часткових критеріїв якості конструкцій.

На рис.1 подано залежність $D(n)$, для важливого з точки зору практичного використання функції (5) випадку, коли $d_i = 1$ при $i=1,2,\dots,n-1$ та $d_n = 0,2$. З рисунка добре видно, що при $n=3$ узагальнена бажаність конструкцій не перевершує рівень перехідної зони, $D(3) < 0,63$. Але вже при $n=4$ узагальнена бажаність D перевищує значення 0,63, тобто необґрунтовано переводить розглянуте тестове рішення в розряд прийнятних конструкцій.

Достатньо часто при перспективному форсуванні дизелів температура поршня в зоні верхнього ПК починає досягати свого критично припустимого значення. З цього приводу метою поданої роботи є розробка такої часткової функції бажаності для оцінки температурного стану поршня в зоні кілець, яка б дозволяла виконувати процедуру конструктивної оптимізації останнього при одночасному використанні значно великої кількості часткових критеріїв якості.

Повертаючись до розгляду рис.1 можна побачити, що тільки в разі досягнення значень $d_n = 0,001$ можна говорити про достовірність моделі (5) при збільшенні кількості часткових критеріїв якості n до десяти. Тільки в цьому випадку виконується умова $0,2 < D(10) < 0,63$. Останнє означає, що функція d_{t_3} при досягненні критичного значення по температурі t_3 повинна швидко наближатись до 0.

За виразом (4), який розроблено з використан-

ням класичного підходу [3], вказана вимога не виконується. Це добре видно з рис.2 (крива 1) та означає, що має місце потреба в розробці нової за виглядом функції перетворення значень температур в зоні верхнього ПК до безрозмірної шкали бажаності.

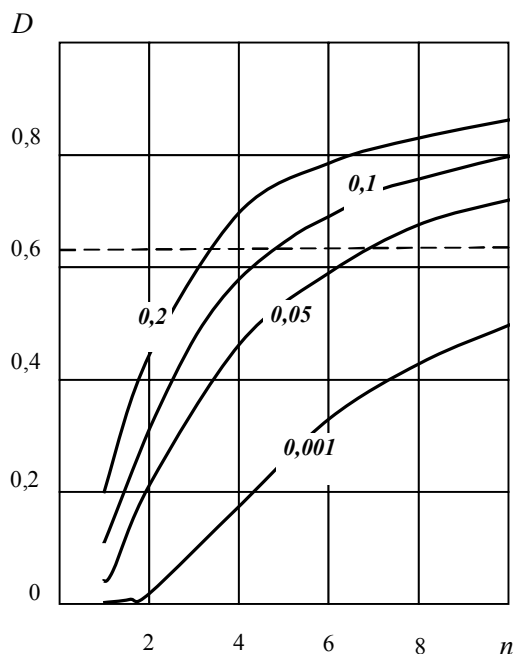


Рис. 1. Залежність значень узагальненої бажаності конструкції від кількості часткових критеріїв її якості при наявності неприйняттного значення одного з часткових критеріїв: цифри біля кривих – значення часткової бажаності неприйняттного критерію

Подальший аналіз рис.2 свідчить, що функція (4) є симетричною, з вершиною, що утворює ділянку з малим, не більше 6°C , інтервалом температур максимальної бажаності. Така обставина при оптимізації конструкції поршня приводить до появи крутого підйому функції узагальненої бажаності D поблизу її вершини та вступає у протиріччя з формальною інженерною логікою проектування поршнів – конструкцію з “точно” визначеною температурою в зоні верхнього ПК не можна вважати за єдино можливу точку глобального оптимуму. З цього приводу ділянку з максимальною бажаністю температурного стану поршня в зоні, що розглядається, пропонується встановлювати на рівні до 10% від значення гранично припустимої температури.

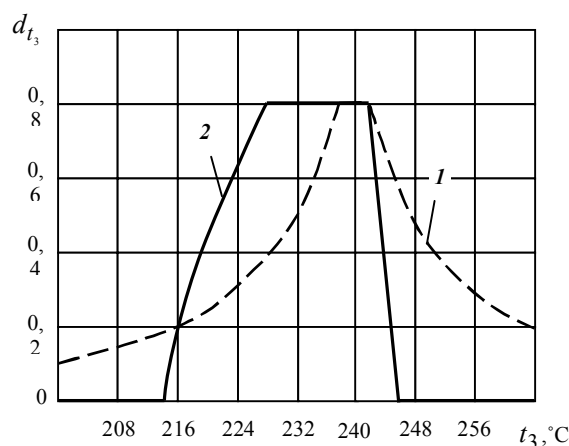


Рис. 2. Класична (1) та запропонована (2) часткові функції перетворення значень температур в зоні верхнього ПК до безрозмірної шкали бажаності

З урахуванням вказаного та прийнятого нами квадратичного закону залежності значень часткової функції бажаності d_{t_3} від t_3 можна запропонувати:

$$d_{t_3} = \begin{cases} 1 - 80 \cdot (1 - t_3 / t_{ep})^2, & t_3 < 0,9t_{ep} \\ 0,8, & 0,9t_{ep} < t_3 < t_{ep} \\ 1 - 2000 \cdot (1 - t_3 / t_{ep})^2, & t_3 > t_{ep} \end{cases}, \quad (6)$$

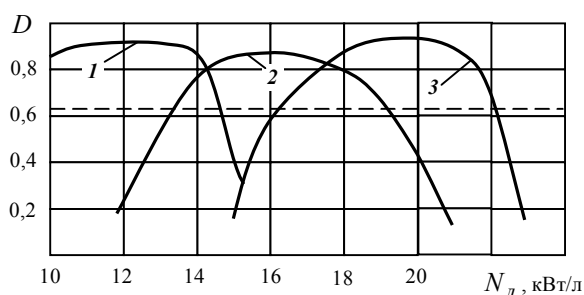
де t_{ep} – гранична температура використання певного сорту масла.

Запропоновану часткову функцію бажаності (6) також подано на рис.2 (крива 2).

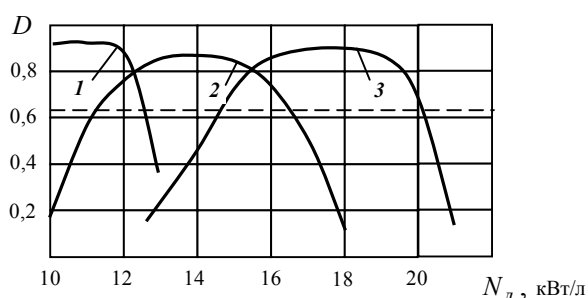
З метою аналізу практичного використання нової функції нами виконано оцінку бажаності температурного стану серійних конструкцій поршнів двигунів 4ЧН12/14 (СМД) та 8ЧН13/14 (ЯМЗ) в залежності від рівня форсування дизелів та ряду прийнятих на вказаних двигунах конструктивних заходів. Для проведення розрахунків використано модель (1)-(3), (6). Температурний стан поршнів визначався з використанням моделі ГУ 3-го роду [2]. Результати розрахунків подано на рис.3.

З рис.3а (крива 1) видно, що для тракторного двигуна СМД можливим є застосування масла класу В ($t_{ep} = 220^{\circ}\text{C}$) без масляного охолодження поршня при рівні форсування дизеля до 14,5 кВт/л. Викорис-

тання масляного струминного охолодження поршня та вказаного масла дозволяє підняти рівень форсування до 19 кВт/л (крива 2), а комплексне рішення по впровадженню масла класу Д ($t_{zp} = 242^\circ\text{C}$), масляного струминного охолодження поршня та проміжного охолодження повітря – до 22 кВт/л (крива 3). Отримані дані щодо бажаності форсування двигуна ЯМЗ при його використанні за моделлю експлуатації тракторного дизеля сільськогосподарського призначення (рис.3б) свідчать, що відповідні контрольні рівні форсування дорівнюють 12,5 кВт/л, 16,5 кВт/л та 20 кВт/л. Дещо менші рівні форсування двигуна ЯМЗ пояснюються конструкцією поршня з загостреною кромкою, що приводить до підвищеного рівня температур в її зоні.



а)



б)

Рис. 3. Узагальнена бажаність поршнів тракторних дизелів СМД (а) і ЯМЗ (б)

В цілому результати розрахунків добре збігаються з досвідом розробок та експлуатації вказаних двигунів. Це свідчить про достатньо високу достовірність запропонованої моделі, яка має перспективу використання при збільшенні кількості критеріїв оцінки якості конструкцій поршнів.

Висновки

1. Встановлено, що використання класичного підходу до розробки часткових функцій бажаності Харрінгтона при збільшенні їх числа та досягненні певними з них неприйнятної рівня якості конструкцій приводить до появи недостовірних значень узагальненої функції.

2. Розроблено нову часткову функцію бажаності щодо оцінки температурного стану поршня в зоні верхнього ПК. Підтверджено ефективність її використання на прикладах оцінки термонапруженості поршнів тракторних дизелів типу СМД і ЯМЗ.

3. Подальше удосконалення узагальненої функції бажаності щодо кількісної оцінки термонапруженості поршня слід продовжити в напрямку удосконалення інших часткових функцій бажаності та збільшенні їх числа.

Список літератури:

1. Взорев Б.А., Мордохович М.М. Форсирование тракторных двигателей. – М.: Машиностроение, 1974. – 153 с.
2. Пильов В.О. Автоматизоване проектування поршнів швидкохідних дизелів із заданим рівнем тривалої міцності. – Харків: Видавничий центр НТУ "ХПІ", 2001. – 332 с.
3. Барабашук В.И., Креденцер Б.П., Мірошніченко В.И. Планирование эксперимента в технике / Под ред. Б.П. Креденцера. – К.: Техніка, 1984. – 200 с.