

А.Ф. Шеховцов, д-р техн. наук, В.О. Пильов, д-р техн. наук, М.В. Прокопенко, канд. техн. наук, Л.П. Шевченко, канд. фіз.-мат. наук

ЧИСЕЛЬНА ОЦІНКА БАЖАНОСТІ КОНСТРУКЦІЙ ПОРШНІВ ШВИДКОХІДНИХ ДИЗЕЛІВ

Процедури пошуку оптимального варіанту деталей складних технічних об'єктів, до яких належать і двигуни внутрішнього згоряння, повинні передбачати направлене удосконалення конструкцій на основі моделювання процесів їх функціонування, експлуатації, виробництва. В повній мірі вказане відноситься до проектування поршнів швидкохідних дизелів, де слід враховувати вимоги ефективного протікання робочого процесу, забезпечення тривалої міцності особливо термонавантажених зон, мінімальної маси конструкції тощо. Це означає, що розв'язання комплексу задач проектування треба орієнтувати на забезпечення обраних критеріїв ефективності з використанням схем розумного компромісу. Сьогодні значна функціональна складність поршня зумовлює необхідність спочатку враховувати частину з критеріїв його якості інтуїтивно з використанням моделей нечітких смислових відношень [1]. Водночас в залежності від складності задач, потрібної точності її вирішення та з урахуванням вимог щодо скорочення часу проектування право остаточного вибору потрібного комплексу моделей залишається за конструктором.

Можна скористатись наступною класифікацією моделей за рівнем їх складності [1,2]:

- нульовий рівень - уявна, словесна модель;
- перший рівень - модель нечітких (інтуїтивних) смислових відношень;
- другий рівень - модель чітких смислових відношень;
- третій рівень - кількісна модель урахування найбільш важкого експлуатаційного процесу навантаження двигуна;
- четвертий рівень - кількісна модель урахування експлуатаційного навантаження двигуна.

Зрозуміло, що лише сукупність моделей четвертого рівня (яка відповідає обраному набору критеріїв якості) дозволяє остаточно визначити переваги певних конструктивних рішень. Тоді перші чотири рівня моделей повинні бути якісно еквівалентними до останнього та націлені на скорочення часу проектування.

За нашою думкою, одним з найбільш вдалих способів вирішення задач багатокритерійної оптимізації є використання узагальненої функції бажаності D , що запропонована Харрінгтоном. Для одержання цієї функції слід перетворити значення відгуків кри-

теріїв якості до безрозмірної шкали бажаності $d \in [0;1]$. При цьому оцінка за шкалою бажаності буде при $d \in (0,8;0,63]$ - "добре", $d \in [1;0,8]$ - "дуже добре". Зрозуміло, що часткові функції бажаності d можуть бути легко застосовані на різних етапах проектування для моделей різних рівнів складності, починаючи з другого.

Наприклад, для другого рівня при розгляді стаціонарного термомпружного стану поршня можна застосувати вказану шкалу бажаності до значень температур в зоні кромки камери згоряння (КЗ) t_1 , температур перепаду між зоною кромки КЗ та периферійною зоною огневої поверхні днища поршня Δt_{1-2} , температури в зоні верхнього поршневого кільця (ПК) t_3 .

При наявності декількох відгуків, що перетворені в шкалу d , узагальнена функція бажаності D є середнім геометричним часткових функцій; для поданого прикладу використання функцій d_1, d_{1-2}, d_3

$$D = \sqrt[3]{d_1 \cdot d_{1-2} \cdot d_3} \quad (1)$$

Розглянемо застосування узагальненої функції бажаності D в процесі вирішення задач оптимізації конструкцій поршнів швидкохідних дизелів 8ЧН13/14 (ЯМЗ) та 4ЧН12/14 (СМД).

Розрахунково-експериментальними дослідженнями, що виконані для поршнів двигунів ЯМЗ [3], встановлено, що оребрення зовнішньої поверхні гільзи приводить до суттєвого зниження температурного стану поршня. Це дозволяє форсувати двигун до $N_e=240$ кВт ($N_g=17$ кВт/л) при збереженні температур поршня в критичних зонах на допустимому рівні (рис. 1). Такого висновку дійшли автори статті [3] на основі використання моделі нечітких смислових відношень, заснованих на попередньому досвіді експлуатації двигунів.

В [4,5] нами показано, що при приблизно близьких температурних полях поршня його тривала міцність суттєво відрізняється при різних умовах експлуатації (оранка, комбайнування та інше). Таким чином, останній фактор повинен бути врахованим не тільки в моделях четвертого рівня, а і в усіх інших. Також зрозуміло, що при урахуванні всіх згаданих впливових факторів треба вирішувати багатокритерійну задачу конструктивної оптимізації.

В роботі [2] встановлено зв'язок між якісними та кількісними критеріями оптимізації, та отримано залежності для визначення часткових функцій бажаності

ності. У випадку поршня з відкритою КЗ тракторного двигуна сільсько - господарського призначення:

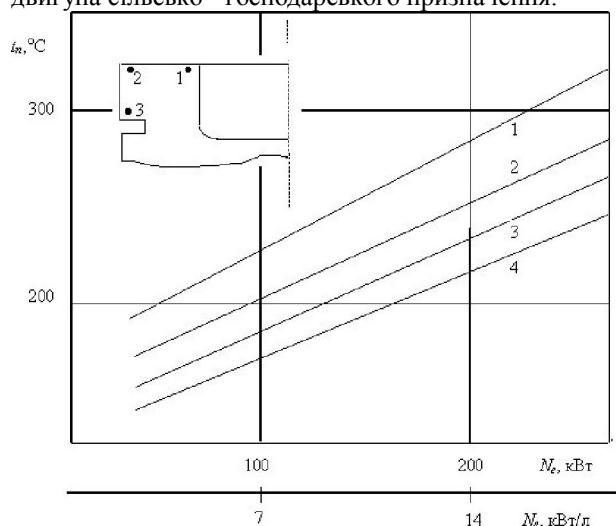


Рис. 1. Температура поршня при роботі дизеля 8ЧН13/14 по навантажувальній характеристиці при $n = 2100 \text{ хв}^{-1}$:

1 - з серійною гільзою (т.1); 2 - з оребреною гільзою (т.1); 3 - з серійною гільзою (т.3); 4 - з оребреною гільзою (т.3)

$$d_1 = \exp[-\exp(0,099t_1 - 31,24)], \quad (2)$$

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

Аналогічні залежності отримані і для комбайнових дизелів та інших КЗ.

Для критерію d_3 залежність може мати вигляд:

$$d_3 = \exp[-(|18,48 - 0,077t_3|)^{0,8}]. \quad (4)$$

Численні розрахунки за виразами (1)-(4) свідчать, що працездатні конструкції відповідають умові $D \geq 0,7$.

Використовуючи подані залежності, доповнимо аналіз ефективності використання оребреної гільзи двигунів ЯМЗ чисельною оцінкою бажаності конструкцій поршнів. Результати такої оцінки подано на рис. 2.

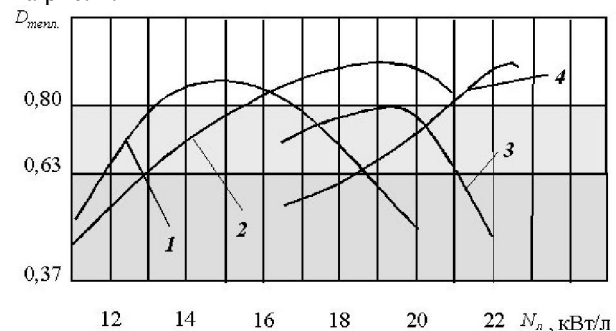


Рис. 2. Оцінка бажаності поршнів тракторних дизелів 8ЧН13/14 (ЯМЗ): 1,3 – серійна гільза; 2,4 – гільза з оребрінням; 3,4 – проміжне охолодження повітря наддування

Видно, що при використанні нової гільзи навіть без впровадження охолодження повітря наддування (крива 2) поршень є працездатним, а висновки авторів роботи [3] підтверджуються у чисельному вигляді. Також видно, що при використанні проміжного охолодження повітря наддування та форсування двигуна до $N_d = 22 \text{ кВт/л}$ серійна конструкція є непрацездатною $d = 0,4$, а для нової конструкції $d = 0,89$, тобто вона є працездатною.

На рисунку 3 подано результати оцінки бажаності конструкції поршнів комбайнових дизелів 4ЧН12/14 (СМД). Розглянуто поршні з КЗ типу ЦНІДІ та з відкритими КЗ у разі масляного струйного охолодження та використання проміжного охолодження повітря наддування. Бачимо, як змінюється значення узагальненої функції бажаності конструкції при зміні потужності двигуна та у разі використання різних типів КЗ.

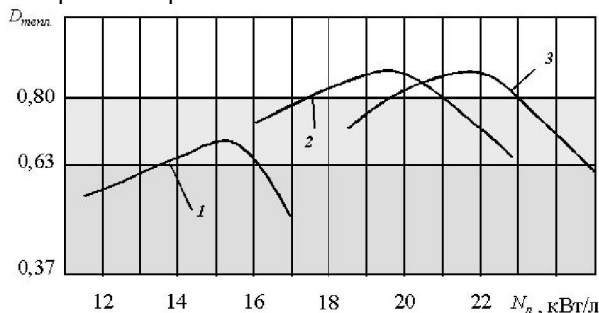


Рис. 3. Оцінка бажаності поршнів комбайнових дизелів 4ЧН12/14 (СМД) при масляному струйному охолодженні поршнів: 1 – КЗ типу ЦНІДІ; 2 – відкрита КЗ; 3 – відкрита КЗ, проміжне охолодження наддувочного повітря

Таким чином, застосування узагальненої функції бажаності приводить до якісної зміни в підходах до багатокритерійного аналізу конструкцій поршнів швидкохідних дизелів, дозволяє ефективно вирішувати багатofакторні задачі оптимізації з використанням САПР, достатньо ефективно збільшувати кількість критеріїв якості.

Список літератури:

1. Оптимизация конструкции теплонапряженных деталей дизелей / С.М. Шелков, В.В. Мирошников, Н.А. Иващенко и др. - М.: Машиностроение, 1983. - 112с.
2. Пильов В.О. Автоматизоване проектування поршнів швидкохідних дизелів із заданим рівнем тривалої міцності: Монографія. - Харків: Видавничий центр НТУ "ХПІ", 2001. - 332с.
3. Лоцаков П.А. Результаты расчетно-экспериментальных исследований оребрения охлаждаемой поверхности гильзы цилиндров на температурное состояние гильз и поршней дизелей ЯМЗ // Двигателестроение. - 2000. - № 1. - С.3-4.
4. Пылев В.А., Шеховцов А.Ф., Прокопенко Н.В. Прогнозирование в САПР теплового состояния поршней с ка-

мерами сгорания типа ЦНИДИ на эксплуатационных режимах работы быстроходных дизелей // *Праці Таврійської державної агротехнічної академії*. - Мелітополь: ТДАТА. - 1999. - Вип.2, Т.13. - С. 10-17. 5. Пильов В.О., Шеховцов А.Ф., Прокопенко М.В., Рамірес А. Міттани *Результати прогнозування ресурсу роботи кромки КЗ поршнів швидкохідних дизелів* // *Праці Таврійської державної агротехнічної академії*. - Мелітополь: ТДАТА. - 2000. - Вип.2, Т.14. - С.47-53.