

*І.О. Мордвінцева, А.М. Зозуля, В.О. Пильов, Р.Аріан*

## ВПЛИВ ВИДУ КЕРУЮЧИХ ФУНКЦІЙ НЕСТАЦІОНАРНОЇ ЗАДАЧІ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ НА РЕСУРСНУ МІЦНІСТЬ ПОРШНЯ

*Виконано аналіз розрахунково-експериментальних даних температурного та термонапруженого стану поршня в перехідних процесах роботи двигуна. Визначено керуючі функції в зоні першого та другого поршневих кілець. Отримано результати температурного стану поршня з урахуванням визначених керуючих функцій. Отримані результати збігаються з експериментальними даними з похибкою в допустимих межах. Розглядається одноступінчаста зміна керуючих функцій в порівнянні з отриманим видом керуючих функцій. Показано вплив виду керуючих функцій нестационарної задачі теплопровідності на температурний та термонапружений стан кромки камери згоряння поршня. Запропоновано спрощені варіанти керуючих функцій на основі одноступінчастої зміни виду керуючих функцій. Виконано оцінку ресурсної міцності поршня з урахуванням особливостей зміни спрощених керуючих функцій. Визначено спрощений варіант керуючих функцій, що відповідає концепції гарантованого забезпечення ресурсу кромки камери згоряння поршня.*

### Вступ

Загальновідомо, що тенденції зміни показників і критеріїв якості конструкцій двигунів внутрішнього згоряння свідчать про постійне зростання питомої потужності. Поряд з іншим ця обставина суттєво ускладнює процес проектування основних теплонапружених деталей і вузлів, що суперечить цілям скорочення часу та витрат на проектування. Основним підходом тут стає зменшення часу доводки двигунів за рахунок впровадження методів та засобів так званих, віртуального проектування та моделювання.

Щодо забезпечення високих показників фізичної надійності теплонапружених елементів двигунів тут додається ціль дотримання концепції гарантованого забезпечення ресурсу конструкції саме на етапі проектування. При цьому одночасне скорочення часу, витрат на проектування та дотримання вказаної концепції передбачає певні припущення та спрощення щодо моделювання температурного, напружено-деформованого стану деталей та прогнозування їх ресурсної міцності [1]. В першу чергу це стосується припустимого спрощення граничних умов (ГУ) задачі теплопровідності, що є достатньо складною науковою задачею.

Відповідно до наведених підходів значна увага приділяється забезпеченню ресурсної міцності поршня. Розтріскування кромок камери згоряння (КЗ) є досить розповсюдженою проблемою, пов'язаною саме з підвищенням рівнів форсування двигунів. Основною причиною означеної проблеми є часта зміна режимів експлуатації [2]. Це означає, що дотримання концепції гарантованого ресурсу поршнів повинно базуватись на раціональних рекомендаціях призначення спрощених моделей ГУ нестационарної задачі теплопровідності поршнів.

### Аналіз публікацій та задачі дослідження

Для моделювання перехідного процесу роботи двигуна використовують нестационарні моделі ек-

сплуатації, основані на стаціонарних моделях [3]. Дані моделі описують кожен режим окремо. Таким чином для визначення ресурсу необхідно враховувати переходи між розглянутими режимами [1]. Визначення оцінки ресурсної міцності в розрахунковому вигляді можна представити за даними [4]:

$$d_{fs} = \sum_{i=1}^{N_0} \sum_{j=1}^{M_1} \frac{1}{N_{fj}^{(i)}} + \frac{1}{U^*} \sum_{i=1}^{N_0} \sum_{j=1}^{M_1} U_j^{(i)}, \quad (1)$$

де  $N_0$  – кількість відмінних перехідних процесів теплового навантаження поршня в прийнятій моделі експлуатації двигуна;  $M_1$  – кількість циклів навантаження поршня, відповідних  $i$ -му перехідному процесу;  $N_{fj}^{(i)}$  – кількість циклів до втрати міцності, викликаних утомою в умовах одного  $j$ -го перехідного процесу;  $U_j^{(i)}$  – енергія розсіювання при повзучості, що викликана одним  $j$ -им циклом навантаження.

Таку модель можливо використовувати на останніх етапах проектування поршня при наявності відомостей щодо керуючих функцій граничних умов 3-го роду задачі нестационарної теплопровідності  $\Phi_a(\tau)$  та  $\Phi_r(\tau)$  для кожного з  $N_0$  характерних перехідних процесів. Це дозволяє встановити величину накопичених пошкоджень матеріалу  $d_{fs}$  протягом заданого ресурсу  $P$ .

Проте, знаходження керуючих функцій ГУ  $\Phi_a(\tau)$  та  $\Phi_r(\tau)$  на сьогодні можливо лише з експерименту. Приклад результатів визначення керуючих функцій  $\Phi_a(\tau)$  та  $\Phi_r(\tau)$  подано в [5]. Приклади завдання ГУ стаціонарної задачі теплопровідності подано в [6].

В [4,7] наведено методику зменшення кількості стаціонарних експлуатаційних навантажень двигуна вдвічі і більше. В цілому її застосування приводить до зменшення часу на проектування. Однак для початкових етапів проектування вона все одне залишатиметься неекономічною.

За найменшу кількість перехідних процесів нестационарної моделі експлуатації бажано прийняти один. Тоді для цього процесу вираз (1) набуває розрахункового вигляду для використання на початкових етапах проектування:

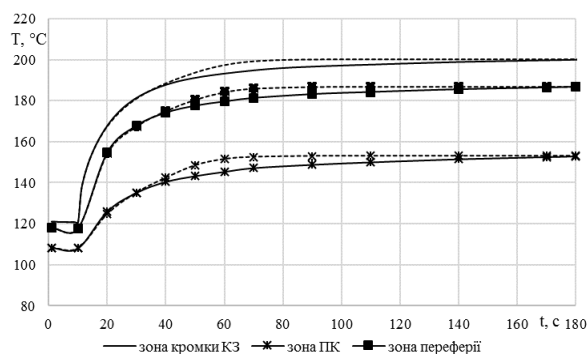
$$d_{fs} = \sum_{j=1}^{M_1} \frac{1}{N_{ff}^{(1)}} + \frac{1}{U^*} \sum_{j=1}^{M_1} U_j^{(1)}, \quad (2)$$

де обраний перехідний процес  $i=1$  відповідає визначальному циклу навантажень двигуна  $\xi_1$  з певним умовним наробітком  $P_1$ . За визначальний цикл навантажень  $\xi_1$  тут слід приймати перехідний процес з режиму холостого ходу на режим максимального навантаження та в зворотному напрямі. Підхід (2) при цьому дозволяє порівнювати якість нової конструкції з такою, що надійно працює в експлуатації (навіть при іншому рівні форсування двигуна).

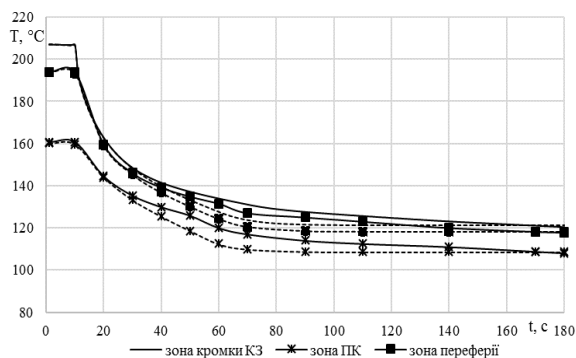
З наведеного можна сформулювати дві задачі дослідження, що відповідають меті скорочення терміну проектування поршня при дотриманні концепції гарантованого забезпечення його ресурсної міцності:

1. Визначення умовного наробітку  $P_1$  за визначальним циклом навантажень двигуна.

2. Розробка рекомендацій щодо припустимого спрощення граничних умов задачі нестационарної теплопровідності поршня в частині завдання керуючих функцій  $\Phi_a(\tau)$  та  $\Phi_r(\tau)$  для визначального циклу навантажень двигуна.



а)



б)

Рис. 1. Температурний стан зон поршня в перехідних процесах накидання (а) та скидання (б) навантаження

В [9] та інших роботах запропоновано здійснювати визначення температурного стану поршня в перехідному процесі з використанням одноступінчастого виду управляючих функцій. Тобто при зміні режиму навантаження двигуна ГУ задачі теплопровідності змінюються миттєво.

Порівняння розрахункових термонапружених

### Основні результати дослідження

Експериментальне дослідження температурного стану поршня виконано щодо дизеля 4ЧН12/14. Розглянуто перехідний процес з режиму холостого ходу при частоті обертання колінчастого валу (КВ)  $n=1500\text{хв}^{-1}$  до режиму максимальної потужності при  $n=1500\text{хв}^{-1}$ , що відповідає максимальному крутному моменту для даного двигуна [8].

За даними експериментального дослідження були отримані керуючі функції для перехідного процесу в зоні першого та другого поршневих кілець (ПК). Результати розрахунку температурного стану поршня з використанням означених функцій показали високий збіг з експериментальними даними [8]. Температурний стан зон поршня з урахуванням отриманих керуючих функцій показано на рис.1. Наведено дані щодо зони кромки КЗ, зони верхнього ПК, периферійної зони вогневого денця поршня. Температурний стан вказаних зон визначає напружено-деформований стан кромки КЗ.

Суцільною лінією на рис. 1 представлено дані експериментального дослідження, переривчастою – розрахункові значення. Похибки отриманих результатів знаходяться в допустимих межах та не перевищують 10%.

станів кромки КЗ дизеля 4ЧН12/14 за дійсним і миттєвим характером зміни керуючих функцій представлено на рис.2. Тут на рис. 2а подано зміну температурного стану в часі, на рис 2б – відповідних термічних напружень. Суцільною лінією показано дані з використанням дійсного виду керуючих функцій, переривчастою – одноступінчастий вид.

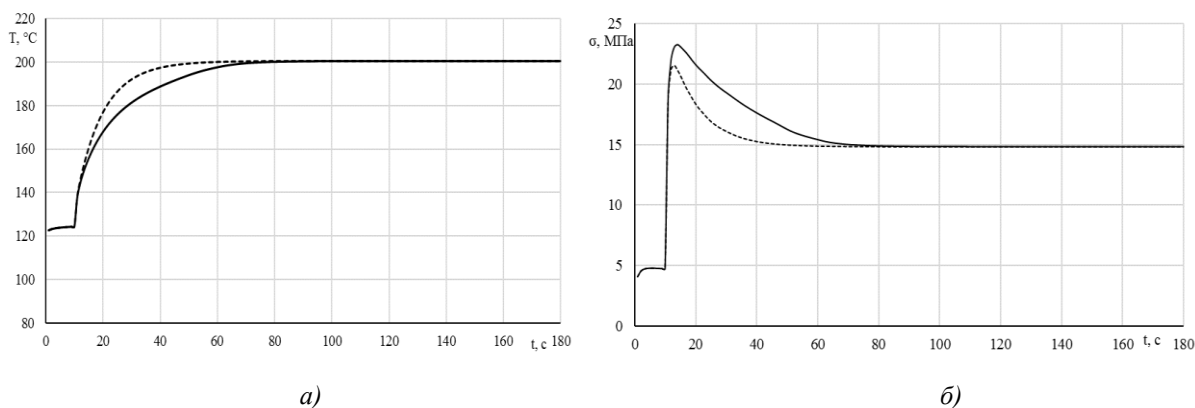


Рис. 2. Вплив виду керуючих функцій на термонапружений стан кромки КЗ поршня

За результатами наведених порівнянь видно, що при розрахунку з використанням одноступінчастого виду керуючих функцій перші 50 с процес зростання температури є завищеним відносно дійсних ГУ. Це означає, що концепція гарантованого забезпечення ресурсу за критерієм температурного стану конструкції виконується.

Однак, результати розрахунків термічних напружень засвідчують протилежний ефект – напруження за одноступінчастим видом є меншим. Останнє свідчить про невиконання прийнятої концепції за цим критерієм.

Отримані результати не є виключенням. Аналогічні порівняння термонапруженого стану нами було здійснено для поршнів дизелів 4ЧН12/14, 6ЧН21/21, 4ЧН10,5/12 для різних рівнів форсування, ступеня охолодження поршнів, при різних формах КЗ. Отримані дані також призвели до різнонаправленої зміни температур та термічних напружень [10].

Саме наведена неоднозначність спрощення ГУ нестационарної задачі теплопровідності потребує використання підходу (2).

Розрахункова кількість циклів низькочастотного навантаження поршня визначається за тривалістю одиничного перехідного процесу:

$$N1 = P1 / \tau_{ц}, \tag{3}$$

де  $\tau_{ц}$  – тривалість одиничного циклу накидання-скидання навантаження на прийнятому важкому експлуатаційному режимі навантаження двигуна.

За даними дослідження [1] відповідно до концепції гарантованого призначення ресурсу приймаємо  $\tau_{ц} = 6$  хв. Розрахунки проводилися з використанням програмного комплексу «Ресурс» [11].

Особливістю накопичення пошкоджень є їх суттєва нелінійність. Відмічено, що внаслідок зміцнення матеріалу швидкість повзучості зменшується в залежності від накопиченої деформації повзучості [1].

Проте різні моделі нестационарної експлуатації навантаження двигуна мають різний рівень впливу на результат накопичення пошкоджень в (1) і (2). Враховуючі властивість зміцнення матеріалу тут має місце ефект затухання накопичених пошкоджень в часі.

Це відображено в проведених розрахунках накопичення пошкоджень для поршня дизеля 4ЧН12/14 за умов експлуатації вантажного автомобіля. Результати розрахунків подано в табл. 1. Тут номери режимів (колонка 2) відповідають даним роботи [3], а порядок їх чергування та наробіток перехідних процесів  $P_i$ , (колонка 3) встановлено за методикою [1].

Величина накопичених пошкоджень  $d_{fs}$ , яка подана в колонці 5, представлена по рядкам сумарно, починаючи з першого.

З табл. 1 видно, що накопичення пошкоджень з ростом номера перехідного процесу мають загальну тенденцію до суттєвого затухання. Так за перші 10 перехідних процесів накопичені пошкодження для дизеля автомобіля досягають величини  $d_{fs} = 0,97$ . Тут наробіток за сумою десяти процесів складає 5100 годин. Таким чином приймаємо за достатній розрахунковий наробіток для автомобільного дизеля  $P_I=5000$  годин при кількості повторних розрахунків  $N1=50000$ .

З табл. 1 також видно, що визначальним циклом виступає перший перехідний процес,  $i=1$ . Для цього процесу величина накопичених пошкоджень у понад 2 рази перевищує загальну відповідну величину. Тоді отримуємо найбільш економічну модель експлуатації двигуна, що відповідає першому перехідному процесу при значенні умовного наробітку  $P_I=5000$  годин.

Отримані дані дозволяють здійснити практичне застосування виразу (2) при дотриманні концепції гарантованого забезпечення міцності конструкції на початкових етапах її проектування.

Таблиця 1. Накопичення пошкоджень кромки КЗ поршня автомобільного дизеля 4ЧН12/14 при його форсуванні до 30 кВт/л

Номер перехідного процесу $i$	Номер режиму	Наробіток перехідних процесів $P_i$ , год	Кількість перехідних процесів $N1$	$d_{fs}$
1	2	3	4	5
1	1-27	820	8200	0,4252
2	1-26	200	2000	0,4652
3	2-26	740	7400	0,6154
4	3-26	340	3400	0,6869
5	4-26	160	1600	0,7236
6	5-26	740	7400	0,8961
7	6-25	300	3000	0,9347
8	6-24	360	3600	0,9413
9	7-24	1160	11600	0,9645
<b>10</b>	<b>8-24</b>	<b>280</b>	<b>2800</b>	<b>0,9709</b>
11	9-24	600	6000	0,9845
12	9-23	80	800	0,9863
13	10-23	380	3800	0,9945
14	10-21	180	1800	0,9956
15	11-21	500	5000	0,9967
16	11-20	1240	12400	0,9985
17	11-19	480	4800	0,9992
18	12-19	160	1600	0,9995
19	13-19	240	2400	0,9998
20	13-18	100	1000	0,9999
21	14-18	460	4600	1,0001
22	14-16	260	2600	<b>1,0001</b>

Отже, здійснено визначення спрощених керуючих функцій задачі нестационарної теплопровідності поршня за означеною вище методикою.

Нами запропоновано розглянути вплив на температурний, термонапружений стан та ресурсну міцність кромки КЗ поршня одноступінчастого виду зміни керуючих функцій із зміщенням за часом їх застосування відносно часу початку перехідного процесу.

Розглянуто такі варіанти одноступінчастого виду керуючих функцій:

– зміна ГУ відбувається миттєво з початком перехідного процесу;

– зміна ГУ відбувається із запізненням на 6, 17 та 22 с відносно початку перехідного процесу.

Отримані за виразом (2) дані розглянуто відносно відповідних даних з використанням дійсних ГУ:

$$f = d_{сфД} / d_{сфЗ}, \quad (3)$$

де  $d_{сфД}$  – дійсне значення величини накопичених пошкоджень;  $d_{сфЗ}$  – значення величини накопичених пошкоджень в зоні кромки КЗ при певній величині зсуву початку зміни ГУ за одноступінчастим законом. При використанні виразу (3) концепція гарантованого ресурсу виконується, коли значення  $f$  є не меншим за одиницю.

Отримані розрахункові результати представлені в табл.2 та на рис.3.

Таблиця 2. Оцінка ресурсної міцності поршня двигуна 4ЧН12/14

Варіанти керуючих функцій	f
Дійсний варіант	1
Миттєва зміна ГУ	0,7095
Запізнення зміни ГУ на 6 с	0,4018
Запізнення зміни ГУ на 17 с	1,0107
Запізнення зміни ГУ на 22 с	1,0193

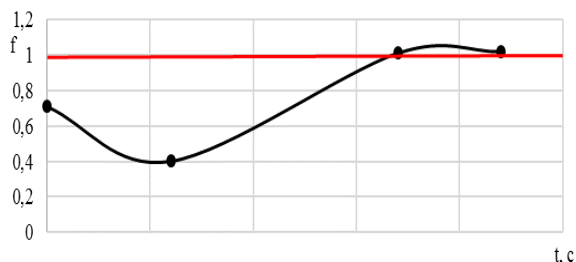


Рис.3. Співвідношення значень критерію  $f$  щодо кромки КЗ поршня для різного виду керуючих функцій задачі теплопровідності

Отримані результати оцінки ресурсної міцності кромки КЗ показали, що застосування миттєвого одноступінчастого виду керуючих функцій призводить до завищеного результату ресурсної міцності  $d_{fs}$ . Це означає, що в даному випадку концепція гарантованого забезпечення ресурсної міцності конструкції порушується. Водночас встановлено, що використання одноступінчастого спрощення керуючих функцій при запізненні зміни ГУ на 17-22 с відносно початку перехідного процесу практично відповідає дійсному варіанту зміни ГУ. Таким встановлено можливість спрощень ГУ нестационарної задачі теплопровідності.

Задачі є вирішеними.

### Висновки

Отримані результати розрахунків температурного та термонапруженого станів кромки КЗ поршня в перехідних процесах роботи двигуна, а також результати оцінки ресурсної міцності дозволяють зробити наступні висновки.

Враховуючі складність при визначенні дійсного виду керуючих функцій задачі теплопровідності в перехідному процесі навантаження двигуна необхідно мати більш прості способи їх завдання.

Варіант миттєвої зміни ГУ при зміні режиму навантаження двигуна не відповідає концепції гарантованого забезпечення ресурсної міцності кромки КЗ поршня.

Дотримання концепції гарантованого забезпечення ресурсу кромки КЗ поршня на початкових етапах його проектування є можливим за умови запізнення в часі зміни ГУ відносно моменту початку перехідного процесу навантаження двигуна.

Розрахунок ресурсної міцності в разі прискорюється при врахуванні одного найбільш важкого перехідного процесу та умовного наробітку  $P_1$ , що дорівнює 5000 годин.

Подальший напрямок робіт націлено на сумісне врахування низько- та високочастотних термічних навантажень поршнів.

### Список літератури:

1. Пильов В.О. Автоматизоване проектування поршнів швидкохідних дизелів із заданим рівнем тривалості міцності: моногр. / В.О. Пильов. – Харків: Видавничий центр НТУ «ХПІ». – 2001. – 332 с 2. Damage analysis of details of ICE, DFCDIESEL available at. [Електронний ресурс]. – Режим доступу <http://www.dfcdiesel.com/warranty-info/failure-analysis>. 3. Парсаданов И.В. Повышение качества и конкурентоспособности дизелей на основе комплексного топливно-экологического критерия: моногр. – Х.: НТУ «ХПИ», 2003. – 244 с. 4. Матвеевко В.В. Разработка теоретических стационарных экономических моделей эксплуатации автотракторных дизелей для системы прогнозирования ресурсной прочности поршней / В.В. Матвеевко, В.А. Пылев // Грузовик. М., – 2011. – №3. – С. 6-8. 5. Шеховцов А. Ф. Процессы в перспективных дизелях / Шеховцов А. Ф., Абрамчук Ф. И., Крутов В. И. и др. ; под ред. А. Ф. Шеховцова. – Харьков : Изд-во «Основа», 1992. – 352 с. 6. Aryan R. The Effect of fuel Injection Advance Angel on Temperature State of Diesel Engine Piston / Pylyov V., Aryan R. // Науково-технічний журнал "Proceedings of the Institute of Vehicles" Інститут транспортних засобів Варшавського технологічного університету. – 2016. №4. - С.77-86. 7. Турчин В.Т. Аналіз ефективності застосування економічних теоретичних моделей експлуатації тракторних дизелів для оцінки ресурсної міцності поршнів / В.Т. Турчин, В.В. Матвеевко, В.О. Пильов, С.М. Бакланов // Двигатели внутреннего сгорания. – 2010. №2. – с.89-92. 8. Мордвинцева И.А. Особенности задания граничных условий нестационарной задачи теплопроводности поршня дизеля / И.А. Мордвинцева, А.Н. Клименко, Р. Ариан, О.Ю. Линьков, В.А. Пылев // Двигатели внутреннего сгорания. – 2017. №1. – с.33-41. 9. Пылев В.А. Совершенствование методики сравнительной оценки термонапряженного состояния поршней / В.А. Пылев, А.В. Белогуб, И.А. Нестеренко, А.Ю. Федоров, Р. Ариан, В.А. Хижняк // Двигатели внутреннего сгорания. – 2014. №2. – с.68-72. 10. Nesterenko I. Analysis Temperature State and Simulation of Piston in Diesel Engines with using Computer-Aided Design/ Pylyov V., Aryan Rasoul, Nesterenko I. // Науково-технічний журнал "Industrial Technology and Engineering" Південно-Казахстанський державний університет ім. М. Ауезова 2015. №2. - С. 21-28. 11. Свідоцтво № 5915 про реєстрацію авторського права на твір. Комп'ютерна програма «Ресурс» / В.О. Пильов, М.В. Прокопенко, А.Ф. Шеховцов; зареєстровано 16.07.2002.

### Bibliography (transliterated):

1. Pilov, V.O. (2001), Automated design of the piston of fast-diesels with a given level of long-term strength: monograph [Automatizovane proektuvannya porshniv shvidkohidnih dizeliv iz zadanim rivnem trivaloyi mitsnosti: monogr.], Harkiv: Vidavnicхий tsestr NTU "HPI", 332 s. 2. Damage analysis of details of ICE, DFCDIESEL available at: <http://www.dfcdiesel.com/warranty-info/failure-analysis>. 3. Parsadanov, I. (2003), Improving the quality and competitiveness of diesel engines on the basis of an integrated fuel and ecological criterion: monograph [Povyishenie kachestva i konkurentosposobnosti dizeley na osnove kompleksnogo toplivno-ekologicheskogo kriteriya: monografiya], H.: NTU "KhPI", 244 p. 4. Matveenko, V., Pilov, V.O. (2011), "Development of the theoretical models of stationary fuel-efficient operation of automotive diesel engines for resource pistons strength prediction system" [Razrabotka teoreticheskikh statsionarnykh ekonomichnykh modeley ekspluatatsii avtotraktornykh dizeley dlya sistemy prognozirovaniya resursnoy prochnosti porshney], Truck. M, No. 3, pp. 6-8. 5. Shehov-

tsov A., Abramchuk F., Krutov V. (1992), *Processes in perspective diesel engines [Protsessy v perspektivnykh dizelyah]*, "Osnova", Khar'kov, 352 p. 6. Aryan R., Pylyov V. (2016) "The Effect of fuel Injection Advance Angle on Temperature State of Diesel Engine Piston", *Scientific and Technical Journal "Proceedings of the Institute of Vehicles" Institute of Vehicles of the Warsaw University of Technology*, No.4, pp.77-86. 7. Turchin, V., Matveenko, V., Pylov, V., Baklanov, S. (2010), "Analysis of efficiency of application of economic theoretical models of operation of tractor diesel engines for the estimation of the resource strength of pistons" [Analiz efektyvnosti zastosovannya ekonomichnykh teoretichnykh modeley ekspluatatsiyi traktornykh dizeliv dlya otslnki resursnoyi mltsnosti porshnly], *Internal combustion engines*, No. 2, pp. 89-92. 8. Mordvintseva I., Klimenko, A., Aryan R., O. Linkov, Pylev, V. (2017), "Features of the specification of the boundary conditions for the nonstationary

heat conduction problem of a diesel piston" [Osobennosti zadaniya granichnykh usloviy nestatsionarnoy zadachi teploprovodnosti porshnya dizelya], *Internal combustion engines*, No.1, pp.33-41. 9. Pylev V., Belogub A., Nesterenko I., Fedorov A., Aryan R., Hizhnyak V. (2014), "Perfection of the method of comparative evaluation of the thermally stressed state of pistons" [Sovershenstvovaniye metodiki sravnitel'noy otsenki termonapryazhennogo sostoyaniya porshney], *Internal combustion engines*, No.2, pp.68-72. 10. Nesterenko I., Pylyov V., Aryan R. (2015), "Analysis Temperature State and Simulation of Piston in Diesel Engines with using Computer-Aided Design", *Industrial Technology and Engineering*, No. 2, pp. 21-28. 11. Pylov V., Prokopenko M., Shekhovtsov A. (2002), Certificate No. 5915 on registration of copyright in a work. Computer resource "Resource" [Svidotstvo № 5915 pro reyestratsiyu avtors'koho prava na tvir. Komp'yuterna prohrama «Resursy»].

Надійшла в редакцію 26.07.2018 р.

**Мордвінцева Ірина Олександрівна** – мол. наук. співр. кафедри двигунів внутрішнього згорання Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, e-mail: irka13n@bigmir.net .

**Зозуля Андрій Миколайович** – магістр кафедри двигунів внутрішнього згорання Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

**Пильов Володимир Олександрович** – доктор техн. наук, проф., зав. кафедри двигунів внутрішнього згорання Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, e-mail: pylyov@meta.ua.

**Аріан Расул** - мол. наук. співр. кафедри двигунів внутрішнього згорання Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

## ВЛИЯНИЕ ВИДА УПРАВЛЯЮЩИХ ФУНКЦИЙ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ЗАДАЧИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ НА РЕСУРСНУЮ ПРОЧНОСТЬ ПОРШНЯ

*И.А. Мордвинцева, А.Н. Зозуля, В.А. Пылев, Р. Ариан*

Выполнен анализ расчетно-экспериментальных данных температурного и термонапряженного состояния поршня в переходных процессах работы двигателя. Определены управляющие функции в зоне первого и второго поршневых колец. Получены результаты температурного состояния поршня с учетом определенных управляющих функций. Полученные результаты совпадают с экспериментальными данными с погрешностью в допустимых пределах. Рассматривается одноступенчатое изменение управляющих функций в сравнении с полученным видом управляющих функций. Показано влияние вида управляющих функций нестационарной задачи теплопроводности на температурное и термонапряженное состояние кромки камеры сгорания поршня. Предложены упрощенные варианты управляющих функций на основе одноступенчатого изменения вида управляющих функций. Выполнена оценка ресурсной прочности поршня с учетом особенностей изменения упрощенных управляющих функций. Определен упрощенный вариант управляющих функций, соответствующий концепции гарантированного обеспечения ресурса кромки камеры сгорания поршня.

## INFLUENCE OF A TYPE OF CONTROLLING FUNCTIONS OF NON-STATIONARY PROBLEM OF THERMAL CONDUCTING ON THE RESOURCE STRENGTH OF THE PISTON

*Mordvintseva I., Zozulya A., Pylev V., Aryan R.*

The analysis of calculation and experimental data of the temperature and thermo-stressed state of the piston in the transient processes of the engine is performed. The control functions are determined in the zone of the first and second porous rings. The results of the temperature state of the piston have been obtained taking into account certain control functions. The obtained results coincide with the experimental data with an error in the admissible mediums. A one-step change in control functions is considered in comparison with the obtained type of control functions. The influence of the type of control functions of the non-stationary heat conduction problem on the temperature and thermo-stressed state of the edge of the combustion chamber of the piston is shown. The simplified variants of control functions are offered on the basis of one-step change of the type of control functions. The estimation of the resource strength of the piston is taken into account taking into account the peculiarities of the change of simplified control functions. A simplified version of control functions is defined, which corresponds to the concept of guaranteed maintenance of the resource of the edge of the combustion chamber of the piston.