

М.: Легион-Автодата, 2004. – 344 с. 4. Марченко А. П., Прохоренко А.А., Мешков Д. В. Универсальный автоматизированный стенд для испытаний ДВС // Вісник Національного технічного університету „Харківський політехнічний інститут”. – Харків: НТУ „ХПИ”. – 2006. – С.119-126. 5. Марченко А.П., Прохоренко А.А., Мешков Д.В. Математическое моделирование процессов в электрогидравлической форсунке системы Common Rail в среде MATLAB/Simulink // Двигатели внутреннего сгорания. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2006. – №1. – С.98-101. 6. Дьяконов В.П.

MATLAB 6.5 SP1/7 + Simulink 5/6®. Основы применения. Серия «Библиотека профессионала». – М.: СОЛОН-Пресс, 2005. – 800 с. 7. Мешков Д.В. Влияние многофазного впрыскивания топлива системой Common Rail на технико-экономические и экологические показатели быстроходного дизеля // Авиационно-космическая техника и технология. – Харьков: Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», 2007. – Вып. 10/46. – С.165–169.

УДК 621.436: 629.01

**В.Т. Турчин, інж. О.О. Зотов, інж., В.О. Пильов, д-р техн. наук,
Л.П. Шевченко, д-р техн. наук**

СУКУПНІСТЬ МОДЕЛЕЙ ОЦІНКИ РЕСУРСНОЇ МІЦНОСТІ ПОРШНІВ ФОРСОВАНИХ ДИЗЕЛІВ В САПР

В процесі проектування та модернізації двигунів завжди постає складна задача забезпечення ресурсної міцності теплонапружених деталей камери згорання, в особливості поршнів високофорсованих дизелів. При цьому прогнозування ресурсної міцності поршня неодмінно передбачає застосування системного підходу, який базується на комплексі сучасних неекономічних математичних моделей та методах автоматизованого проектування. Водночас забезпечення високої ефективності САПР неможливо без впровадження на початкових стадіях підтримки проекту сукупності економічних моделей оцінки ресурсної міцності. Є зрозумілим, що отримання останніх повинно базуватися на достовірних неекономічних моделях верхнього рівня складності.

Відповідно до вказаного, метою роботи є розробка методики отримання економічних моделей аналізу ресурсної міцності поршня нижніх рівнів складності та схем застосування комплексу моделей аналізу ресурсної міцності поршня в САПР.

Частково вказаної мети досягнуто в роботах [1,2]. Удосконалення відомих схем [1] нами виконано з урахуванням розробок [4-5] та наведено на рис.1, 2.

На рис.1 подано схему отримання моделей аналізу ресурсної міцності поршня нижніх рівнів складності. Тут вихідними даними (блок 1) є вектор конструктивних параметрів поршня x , номінальна потужність N_e та модель експлуатації Ξ двигуна.

Тут блоки 2-4 відповідають моделям верхнього рівня. Для визначення температурного (блоки 2-3) та напруженого-деформованого стану (блок4) передбачається використання методу скінчених елементів (МСЕ) в тривимірній постановці розв'язання задачі [2]. Методику отримання граничних умов (ГУ) для визначення температурного стану поршнів швидкохідних дизелів наведено в [1]. Для підвищення економічності процедури отримання моделей нижніх рівнів в [3] додатково введено комплекс моделей середнього рівня складності (блоки 5-7). Методика отримання моделей, описаних в блоках 5-7 наведена в [1]. В блоці 7 безпосередньо здійснюється аналіз величини накопичених пошкоджень в матеріалі поршня з урахуванням заданих конструктивних параметрів, рівня форсування двигуна та його технологічного призначення, які обираються у блоці 1. Модель оцінки ресурсної міцності поршня (блок 7) нами було удосконалено в [6]. Тут граничний стан конструкції досягається за виконанням умови $d_{fs} = 1$. За

результатами функціонування блоку 7 в [6] нами отримано моделі чорного ящика щодо оцінки накопичених пошкоджень в особливо термонавантаженої зоні поршня, наприклад, кромки камери згоряння (КЗ). Ці результати покладено в основу блока 8.

В блоці 8 визначається допустиме значення величини накопичених пошкоджень $[d_{fs}]$ з урахуванням розкиду властивостей матеріалу, а також допустиме значення ефективної потужності $[N_e]$ двигуна за прийнятою моделлю експлуатації.

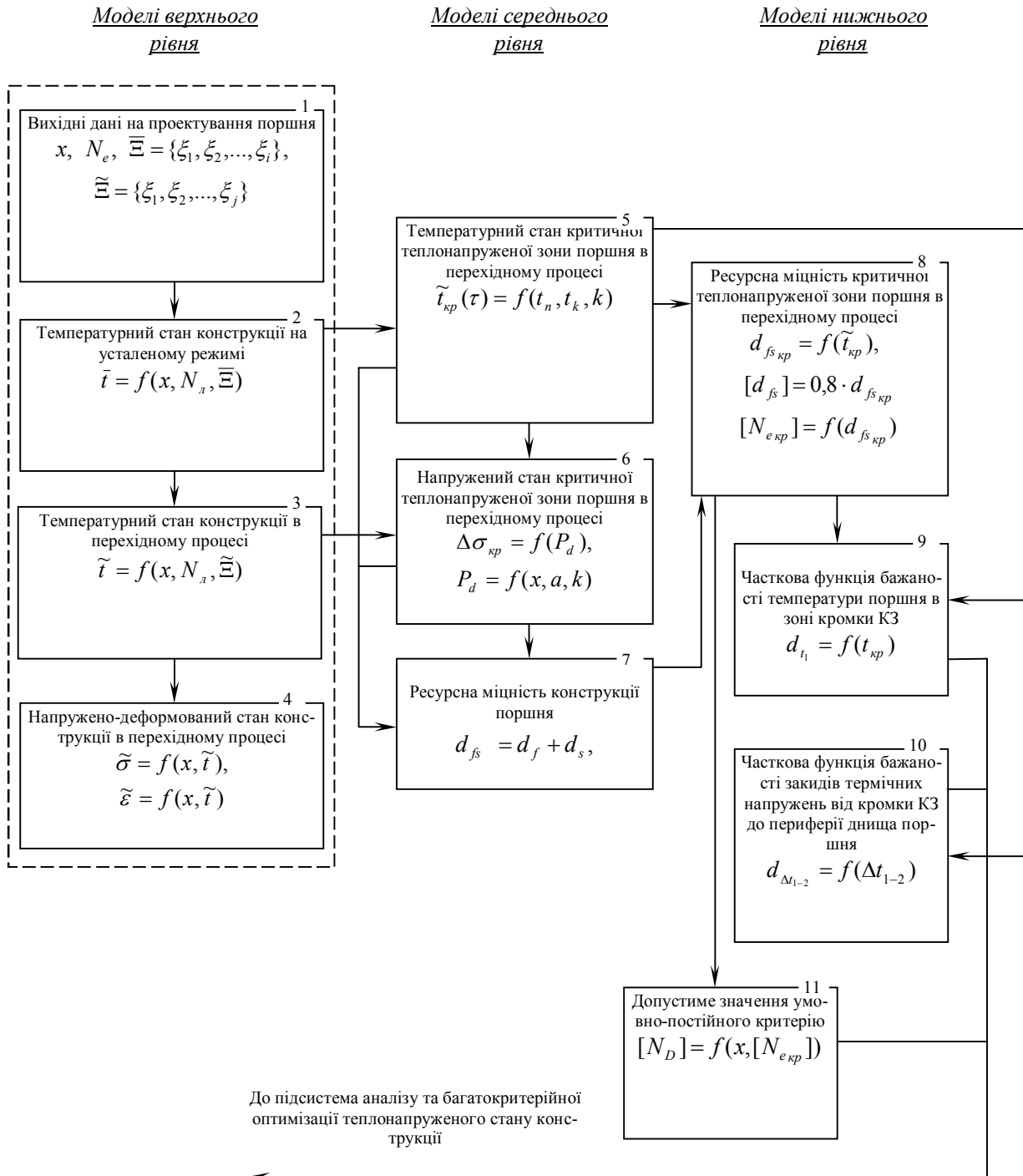


Рис. 1. Загальна схема отримання моделей аналізу ресурсної міцності поршня нижчих рівнів складності

На основі результатів роботи блоку 8 та з використанням даних блоку 5 виникає можливість отримання моделей нижнього рівня, які представлено у вигляді часткових безрозмірних функцій бажаності (блоки 9-10). Тим самим здійснюється перехід від кількісних значень температур (блок 5) до кількісної оцінки рівня теплонапруженості.

В блоці 11 визначається допустиме значення умовно-постійного критерію теплонапруженості поршня для його подальшого використання в процедурах оцінки рівня ресурсної міцності [7].

Отримані моделі нижнього рівня (блоки 9-11) використовуються в підсистемі аналізу та багатокритерійної оптимізації теплонапруженого стану конструкції. Загальну схему цієї підсистеми подано на рис.2.

Тут в блоці 2 виконується попередня перевірка конструкції за рівнем теплового навантаження з використанням умовно-постійного критерію. При виконанні умови

$$[N_D]/\nu < N_D < [N_D], \quad (1)$$

де $[N_D]$ – допустиме значення умовно постійного критерію; ν – коефіцієнт, що визначає діапазон прийнятого рівня теплового навантаження, $\nu \approx 1,1 \dots 1,2$, здійснюється перехід до системи перевірки ресурсної міцності за моделями верхнього рівня складності (блоки 8-9), що відповідають блокам 3-4 рис. 1.

Величина накопичених пошкоджень в матеріалі поршня (блок 10) з урахуванням усіх заданих факторів (блок 1) визначається за методикою [6].

Якщо умова (1) не виконується, то здійснюється перехід до комплексу моделей нижнього рівня (блоки 4-7). Блоки 4-5 відповідають блокам 9,10 рис.1, математичні моделі блоків 6,7 отримано в [9].

Для функціонування блоків 4-6 попередньо визначається температурний стан конструкції в характерних зонах поршня (рис.3). Тут для визначення температурного стану за вимогою високої економічності системи доцільним є використання регіонально-структурного методу [1], блок 3.

В блоці 7 схеми здійснюється комплексна оцінка якості прийнятих конструктивних рішень шляхом будови узагальненої функції бажаності Харрінгтона D . Після визначення конструктивного рішення x^{opt} , яке відповідає умові $D^{opt} = D(x) \rightarrow 1$, здійснюється перевірка за моделями верхнього рівня (блоки 8-10).

Таким чином, отримано повний комплекс моделей щодо забезпечення ефективного аналізу ресурсної міцності поршня в САПР.

З рис.1 та 2 видно, що первинною інформацією для подальшої оцінки ресурсної міцності являється температурний стан конструкції. У зв'язку з цим доцільним постає аналіз методів визначення температурного стану поршня.

Найбільш поширеним підходом для розрахунків теплонапруженого стану конструкції являється використання МСЕ, який дозволяє вирішувати задачі для типових областей складної форми, задавати складні ГУ, здійснювати аналіз багатокомпонентних конструкцій. Недоліками МСЕ являється необхідність згущення сітки моделі в місцях з різкої зміни крайових умов з метою отримання потрібної достовірності результатів та значна перебудова базової сіткової моделі об'єкта для аналізу конкуруючих конструкцій, розмірності вектора конструктивних параметрів x яких не збігаються. Зазначене веде до значного зростання розмірності вирішуваної задачі та, як слідство, зниження економічності розрахунків.

Іншим підходом для визначення теплонапруженого стану конструкції являється використання регіонально-структурного методу. В [1] показано ефективність застосування останнього на початкових стадіях проектування.

Нами виконано порівняння МСЕ та регіонально-структурного методу щодо визначення температурного стану поршня. На рис.3 наведено основні ділянки завдання ГУ, які призначалися за даними [1,3].

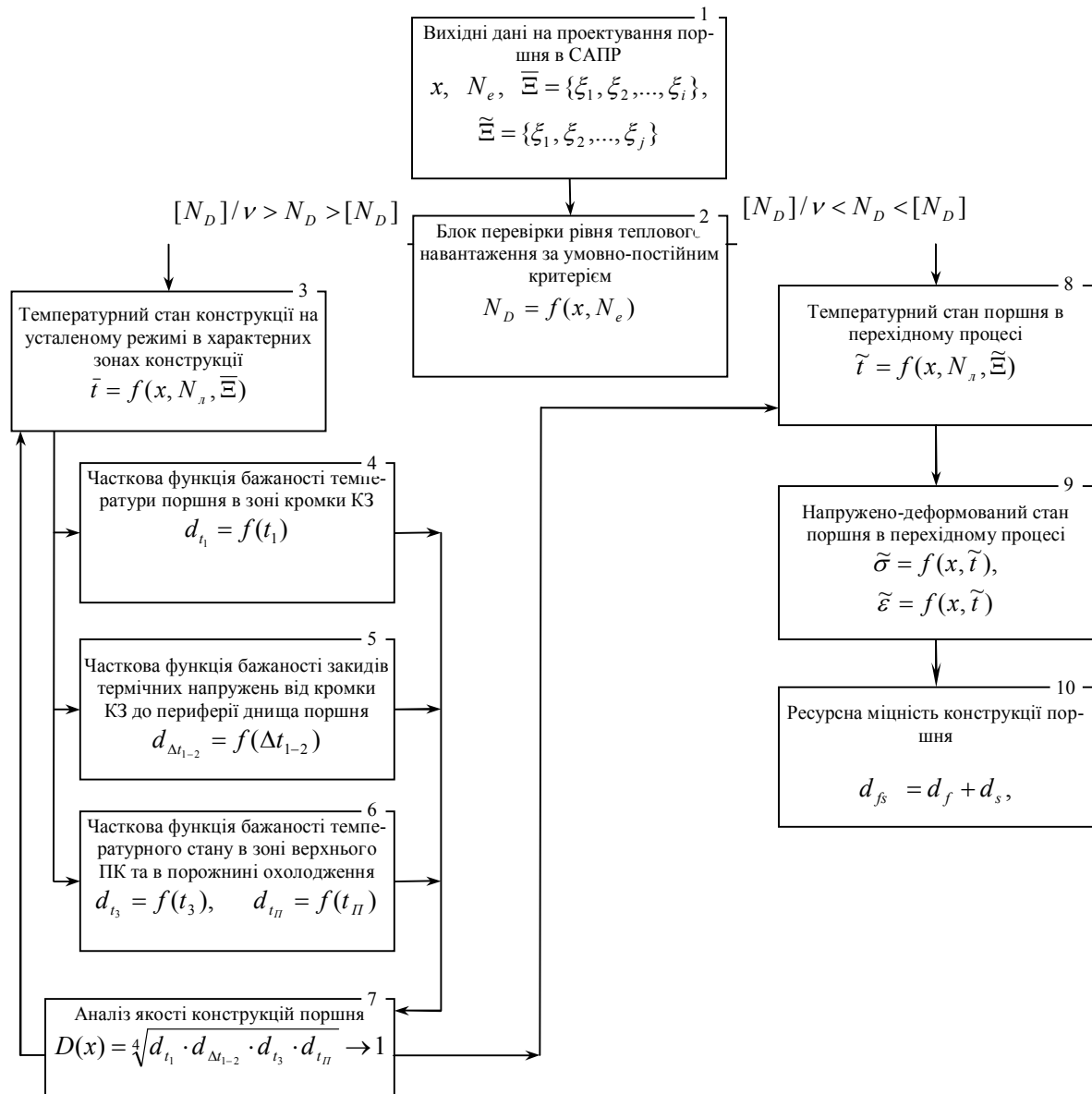


Рис. 2. Загальна схема застосування моделей аналізу ресурсної міцності поршня в САПР

Для вирішення задачі за МСЕ розроблено тривимірну модель поршня дизеля типу ЧН12/14. На рис.4,а наведено відповідну сіткову модель поршня. На ділянках I-III виконано згущення сітки. Загальна кількість скінчених елементів – 283198.

Результати розрахунків температурного стану поршня за МСЕ при $N_n = 18,5 \text{ км/л}$ подано на рис. 4,б. Розв’язання температурної задачі у вісисиметричній постановці за регіонально структурним методом виконано за методикою [1].

В табл. наведено результати розрахунків за МСЕ – t^{MCE} та регіонально-структурним методом – t^R в контрольних точка поршня відповідно до рис.3, та порівняння цих результатів з даними [3].

Видно, що окрім контрольної точки №4 рис.3 результати використання методів є практично ідентичними. При цьому важливо що витрати часу за використанням методу скінчених елементів є до 35 разів більшими відносно регіонально-структурного методу. Саме з цього приводу застосування регіона-

Таблиця. Експериментальні та розрахункові дані температур в контрольних точках поршня

№ к/т	$t, ^\circ C$ [3]	$t^{MCE}, ^\circ C$	$\delta, \%$	$t^R, ^\circ C$	$\delta, \%$
1	310	309	0,3	307	0,97
2	282	277	1,8	276	2,1
3	243	243	0	243	0
4	272	271	0,37	260	4,4
5	254	257	1,2	256	0,8

льно-структурного методу в блоці 3 рис.2. (особливо при реалізації процедури оптимізації конструкції x на основі багаторазових повернень з блоку 7 до блоку 3) суттєво скорочує час процесу проектування. Однак для зони з значним градієнтом температур, наприклад т.4-5 рис.3 спостерігається зростання похибки результатів за регіонально-структурним методом.

У зв'язку з вище сказаним доцільним являється використання регіонально-структурного методу в

моделях нижнього рівня, а МСЕ при проведенні перевірочних розрахунків конструкції за моделями верхнього рівня та прийняття остаточного конструктивного рішення.

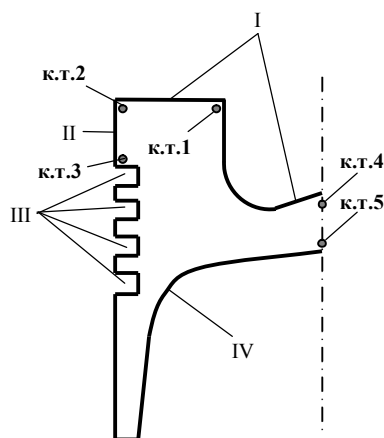


Рис. 3 Основні контрольні точки поршня, що визначають рівень його теплонпруженості (к.т. 1–5) та ділянки завдання ГУ (I-IV)

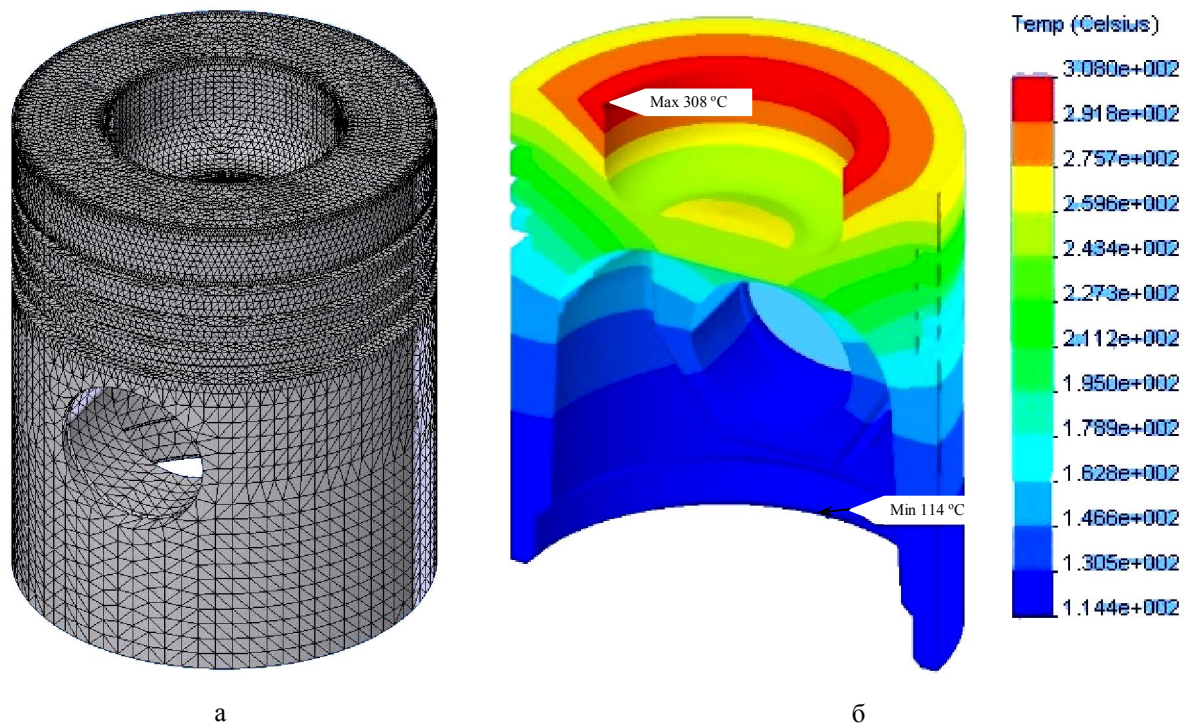


Рис. 4. Сіткова модель (а) поршня дизеля 4CH12/14 та результат розрахунків його температурного стану (б)

Висновки

Розроблено загальну схему отримання моделей аналізу ресурсної міцності поршня нижніх рівнів складності та загальну схему застосування комплексу моделей аналізу ресурсної міцності поршня в САПР.

Проведено порівняльний аналіз методів щодо визначення теплонапруженого стану конструкції на прикладі поршня дизеля типу 4ЧН12/14.

Запропоновано поєднання регіонально структурного методу та МСЕ при проектуванні поршнів в САПР. Встановлено місце кожного з методів в загальній схемі використання комплексу моделей аналізу ресурсної міцності поршня в САПР.

Список літератури:

1. Пильов В.О. Автоматизоване проектування поршнів швидкохідних дизелів із заданим рівнем тривалої міцності: Монографія. – Харків: Видавничий центр НТУ «ХПІ», 2001. – 332с. 2. Зотов А.А., Гусев Ю.А., Белогуб А.В. Разработка и обоснование методики эффективного проектирования поршней двигателей внутреннего сгорания // Двигатели внутр.

сгор. – 2007. – №1. – С. 38-43. 3. Процессы в перспективных дизелях / Под ред. А.Ф. Шеховцова. – Х.: Изд-во «Основа» при Харьк. ун-те, 1992. – 352 с. 4. Пильов В.О., Шеховцов А.Ф., Турчин В.Т., Вікторов В.С. Розробка багаторівневої системи аналізу тривалої міцності поршня // «Вестник науки и техники» / НТУ «ХПІ», ООО «ХДНТ». – Харьков: ООО «ХДНТ», 2005. №2-3 – С. 20-27. 5. Пылев В.А., Марченко А.П., Турчин В.Т., Кузьменко А.П. Комплекс экономических моделей анализа теплонапряженности поршня в САПР // Сб. научн. тр. по матер. Междунар. конф. «Двигатель 2007», посвященной 100-летию школы двигателестроения МГТУ им. Н.Э. Баумана – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – С. 246-251. 6. Турчин В.Т., Пильов В.О., Кузьменко А.П. Удосконалення методики визначення ресурсної міцності поршнів тракторних дизелів // Двигатели внутр. сгор. – 2007. – №2. – С. 30-35. 7. Турчин В.Т., Пильов В.О., Омельченко І.Г., Прокопенко М.В. Вплив технологічного призначення двигуна на ресурсну міцність поршня // Двигатели внутр. сгор. – 2008. – №1. – С. 81-86. 8. Пильов В.О., Шеховцов А.Ф., Турчин В.Т. та ін. Підвищення ефективності метода конструктивної оптимізації поршня ДВЗ за сукупністю критеріїв його термонапруженості // Двигатели внутр. сгор. – 2004. – №2. – С.122-125. 9. Турчин В.Т. Оцінка резервів підвищення ресурсної міцності поршня швидкохідного дизеля // Вісник НТУ «ХПІ»: Збірник наук. Праць. – НТУ «ХПІ». – 2007. – №33. – С. 189-191.

УДК. 621.43

А.М. Левтеров, канд. техн. наук, А.Н. Авраменко, инж.

ТРЕХМЕРНАЯ КОНЕЧНОЭЛЕМЕНТНАЯ МОДЕЛЬ АНАЛИЗА НЕСТАЦИОНАРНЫХ ТЕРМОУПРУГИХ НАПРЯЖЕНИЙ ПОРШНЯ БЫСТРОХОДНОГО ДИЗЕЛЯ

Введение

Повышение литровой мощности современных быстроходных дизелей автотракторного типа является одной из устойчивых тенденций двигателестроения. При этом, естественно, возникают проблемы обеспечения достаточного уровня надежности, обусловленной, в том числе, и теплонапряженным состоянием (ТНС) деталей камеры сгорания (КС) и, в частности поршня.

Современные методы моделирования теплообменных процессов, термомеханических напряжений и деформаций достигли высокого уровня, однако, с учетом различия конструктивных особенностей и эксплуатационных условий работы того или иного типа дизеля, при расчетном моделировании перечисленных процессов в деталях КС практически для каждой конструкции поршня или уровня форсирования двигателя возникает необходимость создавать индивидуальную расчетную модель.