

УДК 621.436.12

**В. О. ПИЛЬОВ, І. О. НЕСТЕРЕНКО****ЗАДАНИЕ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ ТЕПЛООБМЕНА В ЗОНЕ ПОРШНЕВЫХ КОЛЕЦ ПОРШНЯ ТРАНСПОРТНОГО ДИЗЕЛЯ НА НАЧАЛЬНЫХ СТАДИЯХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

Проаналізовано способи завдання граничних умов і законів керуючих функцій для поршнів транспортного дизеля. Запропоновано варіанти спрощеного завдання граничних умов і законів керуючих функцій з метою скорочення часу для розрахунку перехідних процесів навантаження двигуна на початкових стадіях проектування поршня. Зроблено оцінку впливу запропонованих варіантів завдання граничних умов і законів керуючих функцій на температурний і термонапружений стан кромки камери згорання поршня.

**Ключові слова:** поршень, камера згорання, граничні умови, керуючі функції, перехідний процес, дизель.

Проанализированы способы задания граничных условий и законов управляющих функций для поршней транспортного дизеля. Предложены варианты упрощенного задания граничных условий и законов управляющих функций с целью сокращения времени для расчета переходных процессов нагружения двигателя на начальных стадиях проектирования поршня. Произведена оценка влияния предложенных вариантов задания граничных условий и законов управляющих функций на температурное и термонапряженное состояние кромки камеры сгорания поршня.

**Ключевые слова:** поршень, камера сгорания, граничные условия, управляющие функции, переходной процесс, дизель.

We have been analyzed methods for defining boundary conditions of and the laws of the control functions for vehicle diesel engine pistons. Also we have been proposed simplified versions of defining boundary conditions of and the laws of the control functions in order to reduce the time to calculate the engine load transient processes in the early stages of design of the piston. The result was evaluated the influence of the proposed options for setting boundary conditions and the laws of the control functions in the transition processes on the temperature and thermo-stressed state of the piston combustion chamber edge.

**Keywords:** piston, combustion chamber, boundary conditions, control functions, transition process, diesel engine.

**Введение.** Современное двигателестроение развивается достаточно быстрыми темпами. Особенности такого развития является комплексное повышение качественных показателей работы двигателей широкого спектра применения [1]. При этом в большинстве применений условия эксплуатации двигателей характеризуются значительным количеством режимов эксплуатации, высокой частотой их изменений, а также уровнем нагрузки на основных режимах работы. Указанные факторы в комплексе оказывают определяющее влияние на ресурсную прочность основных теплонапряженных элементов двигателя.

Применительно к поршню здесь имеет место проблема растрескивания кромки камеры сгорания (КС), которая связана с существенной нестационарностью режимов работы двигателя в условиях эксплуатации [2, 3].

Для прогнозирования и повышения ресурса кромки КС необходимо моделирование процесса повреждаемости материала поршня с учетом явлений усталости и ползучести. Данная задача решается с использованием разработанного в НТУ «ХПИ» программного комплекса «Ресурс» [4, 5].

Исходными данными для его применения является температурное состояние поршня в исследуемой зоне в переходном процессе нагружения двигателя. В свою очередь, решение задачи нестационарной низкочастотной аperiодической теплопроводности поршня требует задания переменных во времени граничных условий (ГУ). Однако, прогнозирование указанных ГУ, особенно на начальных стадиях проектирования поршня, является отдельной сложной научной задачей. Для ее решения необходимы сведения о степени влияния изменяемых во времени ГУ по отдельным характерным зонам

поршня на температурное состояние его исследуемой зоны.

**Анализ публикаций.** Для определения температурного состояния поршня наиболее часто используют ГУ 3-го рода. При этом выделяют четыре зоны поршня для задания ГУ [4], разбиваемые в основном на 18-24 участка [4,6-10]. Описанные зоны и участки поршня представлены на рис.1 и рис.2 соответственно. Основными здесь являются зоны I и III, представленные на рис. 1.

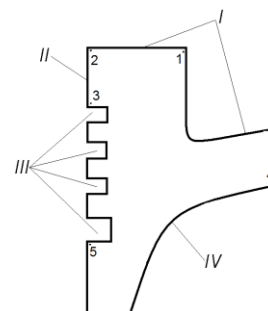


Рис. 1. Основные зоны задания ГУ теплообмена поршня: I – зона огневой поверхности днища; II – боковая зона до поршневых колец; III – зона поршневых колец; IV – зона поверхности, охлаждаемой маслом; цифры возле точек – номера контрольных точек

В [2,11] нестационарное температурное состояние поршня предлагается определять с использованием для зон I и III управляющих функций ГУ. Указанные функции устанавливались на основе экспериментальных данных. Поэтому их можно считать эффективным инструментом на стадии доводки конструкций.

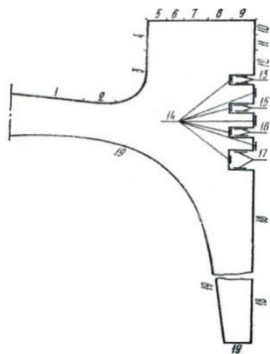


Рис.2. Участки для задания ГУ теплообмена поршня

В [12,13] нами рассмотрен подход к упрощенному заданию ГУ на стационарных режимах работы двигателя. Установлено, что упрощенное задание ГУ в зоне второго и третьего поршневых колец имеет незначительное влияние на изменение температурного состояния КС поршня и является допустимым на начальных этапах проектирования поршня. На температурное состояние поршня в переходных процессах работы имеет влияние вид управляющих функций [11].

**Целью работы** является анализ влияния упрощения граничных условий задачи теплопроводности поршня на температурное состояние кромки его камеры сгорания в переходном процессе нагружения двигателя

**Основная часть.** Расчеты выполнялись для поршня дизеля 4ЧН12/14. Закон изменения температуры рассматривался для варианта осесимметричного задания ГУ. Исходные значения ГУ для стационарных режимов принимались по данным [11]. Исследовался наиболее тяжелый переходной процесс «холостой ход – номинальный режим», как наиболее значимый среди всех имеющих место циклов нагружения.

На первом этапе исследований осуществлено моделирование нестационарной теплопроводности поршня. Использованием математическая модель вида (1), (2):

$$a \cdot \left( \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) = \frac{\partial t}{\partial \tau} ; \quad (1)$$

$$-\lambda \cdot \left( \frac{\partial t}{\partial n} \right) = \alpha \cdot \Phi_a(\tau) \cdot (t_{cm} - t_{cp}) \cdot \Phi_t(\tau), \quad (2)$$

где  $t$  – температурное состояние объекта исследования;  $x, y, z$  – пространственная координата;  $\lambda$  – теплопроводность материала;  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи;  $t_{cm}$  – температура стенки (поверхности детали);  $t_{cp}$  – температура окружающей среды (рабочего тела, взаимодействующего с поверхностью

детали);  $\Phi_a(\tau)$ ,  $\Phi_t(\tau)$  – управляющие функции, задаваемые по участкам границ исследуемой области для изменения ГУ во времени.

В численном эксперименте управляющие функции  $\Phi_a(\tau)$ ,  $\Phi_t(\tau)$  задавались как по известным достоверным законам [2,11] так и упрощенно [12].

В результате многовариантных расчетов было определено температурное состояние кромки КС поршня т.1 рис.1 в переходном процессе нагружения. Варианты расчета отличались видом управляющих функций. Расчетная продолжительность переходного процесса устанавливалась с учетом рекомендаций [4] и составляла 3 мин. Результаты расчетов некоторых рассмотренных вариантов представлены в табл. 1.

Здесь, вариант 1 соответствует исходным значениям ГУ с видом управляющих функций  $\Phi_a(\tau)$ ,  $\Phi_t(\tau)$ , представленных в [11]. С результатами расчетов согласно данного варианта сравнивались другие, упрощенные варианты.

Для варианта 2 вид управляющих функций для зон I и II, рис.1 соответствует [11], а в зоне III закону, предложенному в [12].

В 3 варианте для зон I и II, рис.1 закон управляющих функций соответствует [11], а на втором и третьем кольцах, участок 15 и 16 рис.2, было принято упрощенное задание ГУ, предложенное в [13].

Вариант 4 – для зон I и II, рис.1 закон управляющих функций согласно [12], в зоне III соответствует [11].

Вариант 5 – для зон I, II рис. 1 закон управляющих функций согласно [12], в зоне второго и третьего колец, участок 15 и 16, рис.2, упрощенное задание ГУ, предложенное в [13].

На втором этапе исследований для указанных вариантов задания ГУ определены термические напряжения в зоне кромки КС, представленные в табл. 2. Представленные результаты показали, что упрощенное задание вида управляющих функций в зоне поршневых колец согласно варианта 2 приводит к просадке напряжений в зоне кромки КС, что является нефизичным результатом.

В отличие от варианта 2, вариант 3 показал, что предложенные упрощения допустимы на начальных стадиях проектирования. Исходя из результатов расчета термонапряженного состояния, данное упрощение дает нам запас по ресурсной прочности кромки КС. Таким образом, ГУ по варианту 3 полностью соответствуют используемой на начальных стадиях проектирования поршней концепции гарантированного обеспечения их ресурса.

Результаты двух последних вариантов расчета также могут служить для проектирования на начальных стадиях.

Таблица 1. Результаты расчетов температурного состояния кромки КС поршня (°C) при изменении ГУ и вида управляющих функций  $\Phi_\alpha(\tau)$ ,  $\Phi_t(\tau)$ 

№ варианта расчета	Время, с						
	1	5	10	21	43	107	180
1	203,08	207,9	218,9	252,9	278,7	291,3	298,9
2	203,08	213,2	236,8	279,4	304,3	308,3	308,4
3	203,08	211	218,8	252,4	275,9	285,6	292
4	203,08	231,2	253	267,3	279,3	291	299
5	203,08	231,4	252,7	266,2	276,5	285,2	292

Таблица 2. Результаты расчетов термических напряжений в зоне кромки КС поршня (МПа) при изменении ГУ и вида управляющих функций  $\Phi_\alpha(\tau)$ ,  $\Phi_t(\tau)$ 

№ варианта расчета	Время, с						
	1	5	10	21	43	107	180
1	3,6	5,7	8,7	15,16	11,2	9,3	7,64
2	3,6	1,79	2,53	7,9	7	7,52	7,54
3	3,6	5,63	8,64	14,74	11,6	10	8,4
4	3,7	16	15,07	13,2	11,6	10,1	8,64
5	3,7	15,8	15	13,2	11,9	10,7	9,26

**Выводы.** Проанализировано влияние упрощенных способов задания ГУ, а также вида управляющих функций на температурное и термонапряженное состояние кромки КС поршня.

Установлено, что упрощение нестационарных ГУ в основных зонах их задания может приводить к нефизичному расчетному результату – просадкам термических напряжений при набросе нагрузки двигателя. Это обстоятельство необходимо принимать во внимание при анализе ресурсной прочности поршней на начальных стадиях их проектирования.

Установлены возможные упрощения задания ГУ поршня при моделировании переходных процессов нагружения двигателя, рекомендуемые к использованию на начальных стадиях проектирования поршня в рамках концепции гарантированного обеспечения его ресурсной прочности.

Дальнейшие работы направлены на определение степени влияния упрощений задания ГУ на оценки ресурсной прочности кромки КС поршня.

#### Список літератури

1. Франц К. Мозер. Дизель в 2015 г. Требования и направления развития технологий дизелей для легковых и грузовых автомобилей // Журнал автомобильных инженеров. – 2008. – №4(51). – с. 7–16. [Электронный ресурс]. – Режим доступа www.avl.com; franz.x.moser@avl.com.
2. Процессы в перспективных дизелях / А.Ф. Шеховцов, Ф.И. Абрамчук, В.И. Крутов и др. / Под ред. А.Ф. Шеховцова. – Харьков: Изд-во «Основа» при Харьк. ун-те, 1992. – 352 с.
3. Повреждения поршней – как выявить и устранить их. – Изд-во MS Motor Service International GmbH, 2010. – 91 с.
4. Пылев В.А. Автоматизированное проектирование поршнем быстроходных дизелей с заданным уровнем длительной

- прочности: моногр. /В.А. Пылев. – Харьков: Издательский центр НТУ «ХПИ». – 2001. – 332 с.
5. Свідозтво № 5915 про реєстрацію авторського права на твір. Комп'ютерна програма «Ресурс» / В.О. Пильов, М.В. Прокопенко, А.Ф. Шеховцов; зареєстровано 16.07.2002.
  6. Абрамчук Ф.И. Программный комплекс для моделирования внутрцилиндровых процессов ДВС / Ф.И. Абрамчук, А.Н. Авраменко / Двигатели внутреннего сгорания – 2010. – № 2. – С. 7–12.
  7. Яманин А.И. Обеспечение достоверности и информативности расчетов напряженно– деформированного состояния деталей транспортных поршневых двигателей [Текст] / А.И. Яманин, Ю.В. Голубев, С.М. Шилов, С.Н. Болдырев // Двигателестроение. – 2003. – Вып. 3. – С. 22 – 24.
  8. Шеховцов А.Ф. Влияние конфигурации камер сгорания на напряженно–деформированное состояние поршней быстроходных тракторных и комбайновых дизелей [Текст] / А.Ф. Шеховцов, П.П. Гонторовский, Ф.И. Абрамчук, А.М. Левтеров // Двигатели внутреннего сгорания. – 1987. – Вып. 45. – С. 49 – 55.
  9. Шеховцов А.Ф. Влияние вставки под первое поршневое кольцо на напряженно–деформированное состояние поршней быстроходных тракторных и комбайновых дизелей [Текст] / А.Ф. Шеховцов, П.П. Гонторовский, Ф.И. Абрамчук, А.М. Левтеров // Двигатели внутреннего сгорания. – 1987. – Вып. 46. – С. 3-10.
  10. Марченко А.П. Моделирование нестационарного высокочастотного температурного stanu поршня ДВЗ з теплоізолюваною поверхнею камери згорання / А.П. Марченко, В.В. Пылев // Двигатели внутреннего сгорания. – 2015. – № 2. – С. 41-47.
  11. Левтеров А.М. Исследование теплового и напряженно-деформированного состояния деталей цилиндропоршневой группы быстроходного дизеля при нестационарных нагрузках: Дис. канд. техн. наук: 05.04.02. – Харьков, 1991. – 213 с.
  12. 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.

13. Пылев В.А. Задание граничных условий теплообмена в зоне поршневых колец поршня транспортного дизеля на начальных стадиях проектирования / В.А. Пылев, С.А. Кравченко, И.А. Нестеренко // Двигатели внутреннего сгорания. – 2015. №2. – С.52-56.

#### References (transliterated)

1. Franc K. Mozer. Dizel' v 2015 g. Trebovaniya i napravleniya razvitiya tehnologiy dizelej dlja legkovykh i gruzovykh avtomobilej // Zhurnal avtomobil'nykh inzhenerov. – 2008. – №4(51). – s. 7–16. [Elektronnij resurs]. – Rezhim dostupu www.avl.com; franz.x.moser@avl.com.
2. Processy v perspektivnykh dizel'nykh / A.F. Shehovcov, F.I. Abramchuk, V.I. Krutov i dr. / Pod red. A.F. Shehovcova. – Har'kov: Izd-vo «Osнова» pri Har'k. un-te, 1992. – 352 pp.
3. Povrezhdeniya porshnej – kak vyjavit' i ustranit' ih. – Izd-vo MS Motor Service International GmbH, 2010. – 91 зз.
4. Pylev V.A. Avtomatizirovannoe proektirovanie porshnem bystrohodnykh dizelej s zadannym urovnem dlitel'noj prochnosti: monogr. / V.A. Pylev. – Har'kov: Izdatel'skij centr NTU «HPИ». – 2001. – 332 pp.
5. Svidoctvo № 5915 pro reestraciju avtors'kogo prava na tvir. Komp'juterna programa «Resurs» / V.O. Pil'ov, M.V. Prokopenko, A.F. Shehovcov; zareestrovano 16.07.2002.
6. Abramchuk F.I. Programmyy kompleks dlya modelirovaniya vnutritsilindrovyykh protsessov DVS / F.I. Abramchuk, A.N. Avramenko / Dvigateli vnutrennego sgoraniya – 2010. – No 2. – P. 7–12.
7. Yamanin A.I. Obespechenie dostovernosti i informativnosti raschetov napryazhenno–deformirovannogo sostoyaniya detaley transportnykh porshnevyykh dvigateley [Tekst] / A.I. Yamanin, Yu.V.

Golubev, S.M. Shilov, S.N. Boldyrev // Dvigatelistroenie. – 2003. – Vol. 3. – P. 22 – 24.

8. Shehovtsov A.F. Vliyanie konfiguratsii kamer sgoraniya na napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie porshney bystrohodnykh traktornykh i kombaynovyykh dizeley [Tekst] / A.F. Shehovtsov, P.P. Gontorovskiy, F.I. Abramchuk, A.M. Levterov // Dvigateli vnutrennego sgoraniya. – 1987. – Vol. 45. – P. 49 – 55.
9. Shehovtsov A.F. Vliyanie vstavki pod pervoe porshnevoe koltso na napryazhenno–deformirovannoe sostoyanie porshney bystrohodnykh traktornykh i kombaynovyykh dizeley [Tekst] / A.F. Shehovtsov, P.P. Gontorovskiy, F.I. Abramchuk, A.M. Levterov // Dvigateli vnutrennego sgoraniya. – 1987. – Vol. 46. – P. 3-10.
10. Marchenko A.P. Modelyuvannya nestatsionarnogo visokochastotnogo temperaturnogo stanu porshnya DVZ z teplolozolovanoyu poverhneyu kameri zgoryannya / A.P. Marchenko, V.V. Pyilev // Dvigateli vnutrennego sgoraniya. – 2015. – No 2. – p. 41-47.
11. Levterov A. M. Issledovanie teplovogo i napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya detalej cilindro-porshnevoj grupy bystrohodnogo dizelja pri nestacionarnykh nagruzheniyah: Dis. kand. tehn. nauk: 05.04.02. – Kharkov, 1991. – 213pp.
12. Pylev V. A. Sovershenstvovanie ustoyiviy teploobmen i ocenki termonapryazhennogo sostoyaniya porshnej / V.A. Pylev, A.V. Belogub, I.A. Nesterenko, A.Ju. Fedorov, R. Arian, V.A. Hizhnjak // Dvigateli vnutrennego sgoraniya. – 2014. No 2. – pp. 68-72.
13. Pylev V. A. Zadanie granichnykh usloviy teploobmena v zone porshnevyykh kolets porshnya transportnogo dizelja na nachalnykh stadiyah proektirovaniya / V. A. Pyilev, S. A. Kravchenko, I. A. Nesterenko // Dvigateli vnutrennego sgoraniya. - 2015 No 14. – P. 52-56.

Поступила (received) 21.01.2017

#### Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

**Завдання граничних умов теплообміну в зоні поршневих кілець поршня транспортного дизеля на початкових стадіях проектування / В.О. Пильов, І.О. Нестеренко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Транспортне машинобудування. – Х. : НТУ «ХПІ», 2016. – № 5 (1227). – С. 68 – 71. – Бібліогр.: 13 назв. – ISSN 2079-0066.**

**Задание граничных условий теплообмена в зоне поршневых колец поршня транспортного дизеля на начальных стадиях проектирования / В.А. Пылев, И.А. Нестеренко // Вестник НТУ «ХПИ». Серія: Транспортное машиностроение- Х.: НТУ «ХПИ», 2017 № 5 (1227). – С. 68–71. – Библиогр.: 13 назв. – ISSN 2079-0066.**

**Setting the heat transfer boundary conditions in the area of piston rings piston diesel vehicle in the initial stages of design / V. Pylyov, I. Nesterenko // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Transport machine building. – Kharkov : NTU "KhPI", 2016. – No. 5 (1227). – P. 68 – 71. – Bibliogr.: 13. – ISSN 2079-0066.**

#### Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Пильов Володимир Олександрович** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри двигунів внутрішнього згорання Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», м. Харків; e-mail:pylyov@meta.ua.

**Пылев Владимир Александрович** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедры двигателя внутреннего сгорания Национального технического университета «Харьковский политехнический институт», г. Харьков; e-mail:pylyov@meta.ua.

**Pylyov Vladimir** - Doctor of Technical Sciences, Full Professor, Head of Department of Internal Combustion Engines, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkov; e-mail:pylyov@meta.ua.

**Нестеренко Ірина Олександрівна** – молодший науковий співробітник кафедри двигунів внутрішнього згорання Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; тел.: (095)-777-81-30; e-mail: irka13n@bigmir.net.

**Нестеренко Ирина Александровна** – младший научный сотрудник кафедры двигателя внутреннего сгорания Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»; тел.: (095)-777-81-30; e-mail: irka13n@bigmir.net.

**Nesterenko Irina** – Jr. Chair of Internal Combustion Engines Research Associate National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"; tel.: (095) 777-81-30; e-mail: irka13n@bigmir.net.