

EVALUATION THERMAL STRESS PISTON TAKING INTO ACCOUNT ITS CONSTRUCTIVE ESPECIALLY IN THE ZONE EDGES COMBUSTION CHAMBER

V. A. Pylyov, R. Aryan

Based on experimental data, analytical depending changes of diesel piston temperature state 4CHN12/14 on the load. It identified the boundary conditions of heat conduction problem and axially symmetric asymmetric productions. We investigated the influence of the accounting-sampling valves for the piston on its thermal condition and level of thermal stresses in the edge of the combustion chamber.

УДК 621.436

В.А. Пылев, С.А. Кравченко, И.А. Нестеренко

ЗАДАНИЕ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ ТЕПЛООБМЕНА В ЗОНЕ ПОРШНЕВЫХ КОЛЕЦ ПОРШНЯ ТРАНСПОРТНОГО ДИЗЕЛЯ НА НАЧАЛЬНЫХ СТАДИЯХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Проанализированы способы задания граничных условий для поршней транспортного дизеля. Предложен вариант упрощения задания граничных условий в зоне поршневых колец с целью упрощения расчета переходного процесса нагружения двигателя на начальных стадиях проектирования. Произведена оценка влияния предложенного варианта задания граничных условий на температурное состояние поршня и его ресурсную прочность.

Введение

Неизменной тенденцией совершенствования транспортных дизелей является увеличение их удельной мощности, которая за последние 30 лет возросла более, чем в 1,5 раза. При этом показатели надежности, в том числе долговечность, рассматриваются как критические для перспективных конструкций. Повышенное внимание к этим критериям поясняется соотношением 1:1 между затратами на топливо и обслуживания транспортного средства [1].

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

В связи с указанным в целях прогнозирования и поиска путей повышения ресурса кромки КС необходимой является задача моделирования процесса повреждаемости материала поршня в процессе длительной нестационарной эксплуатации двигателя. Эта задача может быть решена с учетом 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 аperiodической теплопроводности поршня требует задания переменных во времени граничных условий (ГУ). Определение последних, особенно на начальных стадиях проек-

тирования двигателя, является самостоятельной сложной научно-технической задачей.

Анализ публикаций

Для определения температурного состояния поршня наиболее часто используют ГУ 3-го рода. При этом можно выделить четыре основные зоны задания ГУ, представленные на рис. 1 [4]. Основными здесь являются зоны I и III.

В [2,6] нестационарное температурное состояние поршня предлагается определять с использованием сложных законов задания управляющих функций граничных условий. Указанные законы устанавливались на основе экспериментальных данных. Поэтому их можно считать эффективным инструментом анализа конструкций в первую очередь при их доводке.

В [7] нами рассмотрен подход к упрощенному заданию ГУ в зоне I. Поэтому представляет интерес рассмотрение влияния заданных ГУ в зоне III на температурное состояние и ресурсную прочность кромки КС (см. т.1 на рис.1).

Известно, что использование ГУ 3-го рода предполагает задание коэффициента теплоотдачи в соответствующей области поверхности теплообмена и температуры среды. Значения коэффициентов теплоотдачи для канавок каждого из колец α_{III} хорошо известны. Возможно их задание вне зависимости от режима работы двигателя. В то же время условная температура среды в зоне колец T_{III} существенно зависит от режима нагружения двигателя и влияет на результаты расчетов [2,4,6]. В этой связи возникает задача допустимого упрощения задания ГУ 3-го рода в зоне кольцевого пояса поршня на начальных стадиях проектирования.

Цель работы

Целью работы является исследование влияния упрощения задания условной температуры среды для поверхностей канавок поршневых колец (ПК) на температурное состояние поршня и ресурсную прочность кромки его КС.

Решение поставленной задачи

Для решения поставленной задачи использована осесимметричная модель теплопроводности поршня. Численные эксперименты выполнены применительно к поршню дизеля 4ЧН12/14 для двух режимов нагружения, $N_{л} = 18,5$ кВт/л и холостого хода. Исходные граничные условия принимались по данным [2]. Осуществлено варьирование величины T_{III} для каждого отдельного кольца и нескольких колец вместе в интервале известных их значений от холостого хода до $N_{л} = 18,5$ кВт/л. Значения температур анализировались в т. 1 и т.2 (см. рис.1). Результаты расчетов представлены в табл. 1.

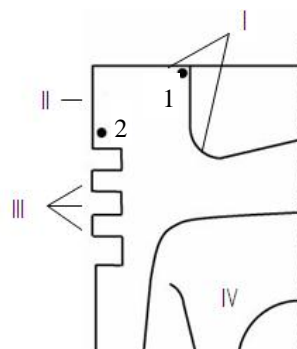


Рис. 1. Основные зоны задания ГУ теплообмена поршня: I – зона огневой поверхности днища; II – боковая зона до поршневых колец; III – зона поршневых колец; IV – зона поверхности, охлаждаемой маслом; цифры возле точек – номера контрольных точек

Таблица 1. Результаты расчетов температурного состояния поршня при изменении ГУ в зонах ПК

№ варианта расчета	$T_2, ^\circ\text{C}$	$\Delta T_2, \text{K}$	$\Delta T_2, \%$	$T_{3,} ^\circ\text{C}$	ΔT_3	$T_{3,} \%$
1	2	3	4	5	6	7
1	203			171,3		
2	307,5			242,2		
3	229,5	26,5	13,1	215,1	43,8	25,6
4	283,5	-24	-7,80	217,9	-24,3	-10
5	213,7	10,7	5,27	185,3	14	8,2
6	297,9	-9,6	-3,12	246,9	4,7	1,94
7	204	1	0,49	178,5	7,2	4,2
8	306,7	-0,8	-0,26	253,3	11,1	4,58
9	240,1	37,1	12,1	214	42,7	17,6
10	274	-33,5	-10,9	201	-41,2	-17
11	214,6	11,6	3,77	183,7	12,4	5,12
12	297,1	-10,4	-3,38	230,2	-12	-4,95
13	241	38	12,36	214,7	43,4	17,9
14	273	-34,5	-11,2	200,1	-17,4	-42,1

Здесь, варианты 1 и 2 соответствуют исходным значениям ГУ, представленных в [2] для режимов холостого хода и $N_{л} = 18,5$ кВт/л соответственно.

Вариант 3 – это режим холостого хода с температурой $T_{III} = 465$ К в зоне канавки первого ПК, равной температуре T_{III} на режиме номинальной мощности.

Вариант 4 – режим номинальной мощности с температурой $T_{III} = 438$ К в зоне канавки первого ПК, равной температуре холостого хода.

Вариант 5 – режим холостого хода с температурой в зоне канавки второго ПК, равной температуре номинальной мощности, $T_{III2} = 473$ К.

Вариант 6 – режим номинальной мощности с температурой в зоне канавки второго ПК, равной температуре холостого хода, $T_{III2} = 418$ К.

Вариант 7 – режим холостого хода с температурой в зоне канавки третьего ПК, равной температуре на режиме номинальной мощности,

$$T_{III3} = 413 \text{ К.}$$

Вариант 8 – режим номинальной мощности с температурой в зоне канавки третьего ПК, равной температуре холостого хода, $T_{III3} = 403 \text{ К.}$

Вариант 9 – режим холостого хода с температурами T_{III1} , T_{III2} в зонах первого и второго ПК, равными температурам режима номинальной мощности.

Вариант 10 – режим номинальной мощности с температурами T_{III1} , T_{III2} в зонах первого и второго ПК, равными температурам холостого хода.

Вариант 11 – это режим холостого хода с температурами T_{III2} , T_{III3} в зонах второго и третьего ПК, равными температурам режима номинальной мощности.

Вариант 12 – режим номинальной мощности с температурами T_{III2} , T_{III3} в зонах второго и третьего ПК, равными температурам холостого хода.

Вариант 13 – режим холостого хода с температурами T_{III1} , T_{III2} , T_{III3} в зонах первого-третьего ПК, равными температурам режима номинальной мощности.

Вариант 14 – режим номинальной мощности с температурами T_{III1} , T_{III2} , T_{III3} в зонах первого-третьего ПК, равными температурам холостого хода.

В колонках 3,4 табл.1 приведены относительные и абсолютные отклонения расчетных температур в зоне кромки КС (точка 1) относительно соответствующих исходных вариантов расчета 1 либо 2. В колонках 6,7 – тоже, для зоны первого ПК (точка 2).

Представленные результаты свидетельствуют, что варьирование значениями ГУ в области третьего ПК (варианты 7,8) приводит к изменению температурного состояния поршня в зоне верхнего ПК до 11К при практически неизменном температурном состоянии в зоне кромки КС. Поэтому при моделировании переходного процесса прогрева-охлаждения поршня ГУ в этой области допустимо принимать неизменными.

Большой интерес представляет упрощение задачи, когда неизменными ГУ задаются в максимально возможном количестве зон. При этом упрощение ГУ для зон всех колец приводит к изменению температуры в зоне кромки КС свыше 35К, что является недопустимым результатом (варианты расчетов 13,14). В то же время упрощение ГУ только в зонах второго и третьего колец приводит к изменению температурного состояния кромки КС примерно на 10-12 К (варианты расчетов 11,12).

Известно, что регулирование температурного состояния поршня повышает ресурсную прочность его кромки КС [8]. Поэтому оценки ресурсной прочности поршня с учетом его расчетного температурного состояния в соответствии с вариантами представленных расчетов 11 и 12 могут представлять существенный интерес.

Такой расчет выполнен согласно методики [4] применительно к модели эксплуатации трактора сельскохозяйственного назначения. Рабочая база составляет 10000 часов эксплуатации. Рассмотрены конструкции со струйным и галерейным масляным охлаждением поршня. Полученные результаты для варианта со струйным масляным охлаждением представлены на рис.2. Здесь, кривая 1 – результаты расчета при использовании исходных ГУ.

Кривая 2 – расчет в соответствии с вариантом 12 табл.1, то есть на всех режимах эксплуатации ГУ в зоне второго и третьего ПК приняты как для режима холостого хода.

Кривая 3 – расчет в соответствии с вариантом 11 табл.1, то есть на всех режимах эксплуатации ГУ в зоне второго и третьего ПК приняты как для режима номинальной мощности.

Видно, что при расчете для варианта 12 ресурс двигателя увеличивается примерно на 2кВт/л, что является существенным в сравнении с ресурсом при исходном задании ГУ. Следовательно, полученное решение противоречит концепции гарантированного обеспечения ресурса на начальных стадиях проектирования двигателя и не может быть рекомендовано.

Видно, что при расчете для варианта 11 исчерпание ресурса происходит при $N_{д} = 21,5 \text{ кВт/л}$, а для варианта 12 $N_{д} = 23-23,5 \text{ кВт/л}$. При этом результаты расчета с использованием ГУ по варианту 11 являются незначительно меньшими, чем при исходных ГУ, что соответствует концепции гарантированного обеспечения ресурса на начальных стадиях проектирования.

Результаты аналогичного расчета для поршня с галерейным масляным охлаждением приведены в табл. 2. Расчет был проведен для форсированных двигателей с $N_{д} = 22 \text{ кВт/л}$, $N_{д} = 25 \text{ кВт/л}$ и $N_{д} = 26 \text{ кВт/л}$. Здесь, вариант 1 – режим номинальной мощности с температурами T_{III2} , T_{III3} в зонах второго и третьего ПК, равными температурам холостого хода.

Вариант 2 – исходные значения ГУ, представленные в [2].

Вариант 3 – это режим холостого хода с температурами T_{III2} , T_{III3} в зонах второго и третьего ПК, равными температурам режима номинальной мощности.

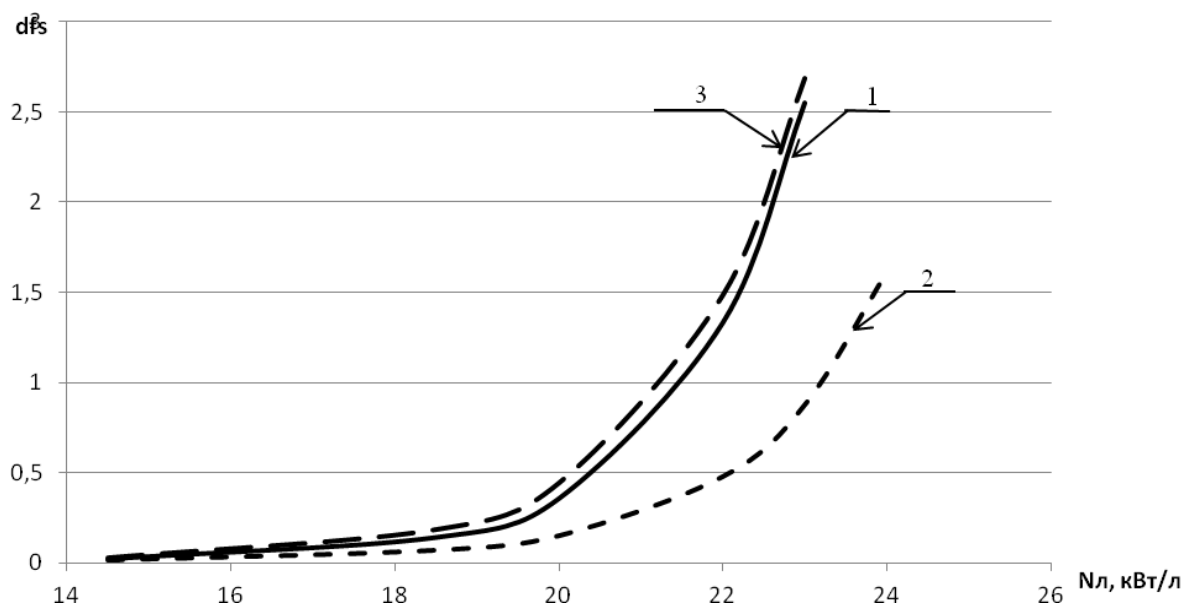


Рис. 2. Ресурсная прочность поршня со струйным масляным охлаждением при различных условиях задания ГУ в зоне ПК

Таблица 2. Результаты расчета ресурсной прочности поршня с галерейным масляным охлаждением

Варианты расчета					
По исходным ГУ		По варианту 12		По варианту 11	
Нл, кВт/л	dfs	Нл, кВт/л	dfs	Нл, кВт/л	dfs
22	0,17	22	0,13	22	0,17
25	0,87	25	0,6	25	0,89
26	1,51	26	1,01	26	1,56

Результаты расчета аналогичны предыдущим. Следовательно, можно рекомендовать данный способ упрощения задания ГУ для поршней с галерейным масляным охлаждением.

Выводы

Проанализировав влияние упрощенных способов задания ГУ в зоне ПК на температурное состояние кромки КС и ее ресурсной прочности. Предложено, при моделировании переходных процессов двигателя задание ГУ в зоне второго и третьего ПК осуществлять по данным номинального режима.

Полученные результаты также свидетельствуют, что интенсифицированное охлаждение поршня в зоне второго и третьего ПК способствует росту ресурсной прочности в зоне кромки КС.

Дальнейшие работы направлены на поиск упрощенного закона изменения ГУ в зоне верхнего ПК для применения на начальных стадиях проектирования.

Список литературы:

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](http://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. 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
6. 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. – 213с.
7. Пылев В.А. Совершенствованные методики сравнительной оценки термонапряженного состояния поршней/ В.А. Пылев, А.В. Белозуб, И.А. Нестеренко, А.Ю. Федоров, Р. Ариан, В.А. Хижняк//

Двигатели внутреннего сгорания. – 2014. – №2. – С. 68-72. 8. Пильов В.О. Попередня оцінка резервів підвищення ресурсної міцності поршня при використанні систем автоматичного регулювання його масляного охолодження / В. О. Пильов, О. М. Клименко // Вісник національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць. Тематичний випуск «Транспортне машинобудування». – Харків: НТУ «ХПИ». – 2014. – №14. – С. 83-88.

Bibliography (transliterated):

1. Franc K. Mozer. Dizel' v 2015 g. Trebovanija i napravlenija razvitija tehnologij dizelej dlja legkovyh i gruzovyh avtomobilej // Zhurnal avtomobil'nyh inzhenerov. – 2008. – №4(51). – S. 7–16. [Elektronnij resurs]. – Rezhim dostupu www.avl.com; franz.x.moser@avl.com. 2. Processy v perspektivnih dizeljah / A.F. Shehovcov, F.I. Abramchuk, V.I. Krutov i dr. / Pod red. A.F. Shehovcova. – Har'kov: Izd-vo «Osnova» pri Har'k. un-te, 1992. – 352 s. 3 Povrezhdenija porshnej – kak vyjaviti i ustranit' ih. – Izd-vo MS Motor Service International GmbH, 2010. – 91 s. 4. Pylev V.A.

Avtomatizirovannoe proektirovanie porshnem bystrohodnyh dizelej s zadannym urovnem dlitel'noj prochnosti: monogr. / V.A. Pylev. – Har'kov: Izdatel'skij centr NTU «HPI». – 2001. – 332 s. 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. Levterov A.M. Issledovanie teplovogo i napryazhenno-deformirovannogo sostojanija detalej cilindroporshnevoj grupy bystrohodnogo dizelja pri nestacionarnyh nagruženijah: Dis..kand.tehn.nauk:05.04.02. – Har'kov, 1991. – 213s. 7. Pylev V.A. Sovershenstvovanie metodiki sravnitel'noj ocenki termoprijazhenno sostojanija porshnej/ V.A. Pylev, A.V. Belogub, I.A. Nesterenko, A.Ju. Fedorov, R. Arian, V.A. Hizhnjak// Dvigateli vnutrennego sgoranija. – 2014. – №2. – S.68-72. 8. Pil'ov V.O. Poperednja ocinka rezerviv pidvishennja resursnoї micnosti porshnja pri vikoristanni sistem avtomatichnogo reguljuvannja jogo masljanogo oholodzhennja / V. O. Pil'ov, O. M. Klimenko // Visnik nacional'nogo tehničnogo universitetu «Harkivs'kij politehničnij institut». Zbirnik naukovih prac'. Tematichnij vipusk «Transportne mashinobuduvannja». – Harkiv: NTU «HPI». – 2014. - №14. – S. 83-88.

Поступила в редакцію 20.07.2015 г.

Пылёв Владимир Александрович – доктор техн. наук, професор, и.о. зав. кафедры двигателей внутреннего сгорания Национального технического университета «ХПИ», Харьков, Украина, e-mail:pylyov@meta.ua.

Кравченко Сергей Александрович – кандидат технических наук, ст. науч. сотрудник, ст. науч. сотрудник кафедры двигателей внутреннего сгорания Национального технического университета «ХПИ», Харьков, Украина

Нестеренко Ирина Александровна – аспирант кафедры двигателя внутреннего сгорания Национального технического университета «ХПИ», Харьков, Украина, e-mail: irka13n@bigmir.net.

ЗАВДАННЯ ГРАНИЧНИХ УМОВ ТЕПЛОБМІНУ В ЗОНІ ПОРШНЕВИХ КІЛЕЦЬ ПОРШНЯ ТРАНСПОРТНОГО ДИЗЕЛЯ НА ПОЧАТКОВИХ СТАДІЯХ ПРОЕКТУВАННЯ

В.О.Пильов, С. О. Кравченко, І.О. Нестеренко

Проаналізовано способи завдання граничних умов для поршнів транспортного дизеля. Запропоновано варіант спрощення завдання граничних умов у зоні поршневих кілець з метою спрощення розрахунку перехідного процесу навантаження двигуна на початкових стадіях проектування. Проведена оцінка впливу запропонованого варіанта завдання граничних умов на температурний стан поршня і його ресурсну міцність.

SETTING THE HEAT TRANSFER BOUNDARY CONDITIONS IN THE AREA OF PISTON RINGS PISTON DIESEL VEHICLE IN THE INITIAL STAGES OF DESIGN

V.A. Pylyov, S. A. Kravchenko, I. A. Nesterenko

Analyzed ways of defining the boundary conditions for the transport of diesel pistons. A variant of simplification of the boundary conditions in the area of piston rings in order to simplify the calculation of the transition process of loading the engine at the initial stages of design. An assessment of the impact of the proposed options for specifying the boundary conditions on the thermal state of the piston and its resource strength.