

mation and computer integrated technologies, Issue 38, pp. 150-169. 7. Bogaevskij, A.B., Osichev, A.V., Vojtenko, M.S. (2013), Investigation of the influence of technical controls on increasing the operational efficiency of the shunting locomotive, [Issledovanie vlijanija tehniceskikh sredstv upravlenija na povysenie jekspluatacionnoj jekonomichnosti maneirovogo teplovoza], Bulletin of the Volodymyr Dahl East-Ukrainian National University, № 18 (2013), part 2, pp. 177-182. 8. Bogaevskij, A.B., Borisenko, A.M., Vojtenko, M.S. (2013), Estimation of the possibility of reducing the fuel consumption of the diesel generator of the shunting locomotive due to improved control, [Ocenka vozmozhnosti snizhenija rashoda topliva dizel'-

generatora maneirovogo teplovoza za schet sovershenstvovanija upravlenija], Internal Combustion Engines, No. 1, pp. 105-109. 9. Markov, V. A., Furman, V. V., Akimov, V. S. (2013), Fuel supply system with electronic diesel engine control, [Sistema toplivopodachi s jelektronnym upravleniem teplovoznogo dizelja], Mechanical engineering, № 7, pp. 60-65. 10. Alexandrova, T.E. (2001), Electronic regulator of fuel supply of a transport diesel with unregulated turbocharging, [Elektronnij reguljator palivopodavannja transportnogo dizelja z neregul'ovanim turbonaddvom], Proceedings of the Odesa State Polytechnic University, Issue 5, pp. 192-195.

Надійшла до редакції 10.07.2017 р.

РАЗРАБОТКА УНИВЕРСАЛЬНОГО ЭЛЕКТРОННОГО РЕГУЛЯТОРА ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА ДИЗЕЛЯ

А.А. Прохоренко, С.С. Кравченко, И.Н. Карягин, Е.Г. Вовк, П.И. Думенко

Разработан электронный регулятор топливной системы высокого давления для транспортного дизеля, внедрение которого позволит формировать оптимальные характеристики транспортного средства с учетом условий его эксплуатации и согласованности с любыми видами трансмиссии и двигателя. Авторами предложена концепция синтеза алгоритма электронного регулятора дизеля, основанного на аналогии с работой механического пружинно-рычажного регулятора прямого действия. Проведенные безмоторные и моторные исследования топливного насоса высокого давления тракторного дизеля, оснащенного разработанным электронным регулятором, позволили получить его статические (равновесные) характеристики, подтверждающие работоспособность и устойчивость работы системы.

DEVELOPMENT OF THE UNIVERSAL ELECTRONIC REGULATOR ROTATION OF THE CRANKSHAFT OF DIESEL

A.A. Prokhorenko, S.S. Kravchenko, I.N. Karyagin, E.G. Vovk, P.I. Dumenko

An electronic regulator of a high-pressure fuel system for a transport diesel has been developed, the introduction of which will allow to formulate optimal characteristics of a vehicle taking into account the conditions of its operation and coherence with any types of transmission and engine. The authors suggested the concept of synthesis of the algorithm of the electronic diesel controller, based on the analogy with the operation of a mechanical spring-lever regulator of direct action. Carried out motorless and motor studies of a high-pressure fuel pump of a tractor diesel engine equipped with a developed electronic regulator, it was possible to obtain its static (equilibrium) characteristics, confirming the operability and stability of the system.

Прохоренко Андрій Олексійович – доктор техн. наук, проф., професор кафедри двигунів внутрішнього згорання Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна. e-mail: ap.kharkiv@ukr.net.

Кравченко Сергій Сергійович – канд. техн. наук, молодший науковий співробітник кафедри двигунів внутрішнього згорання Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, e-mail: kravc4enkoser@gmail.com.

Карягін Ігор Миколайович – старший науковий співробітник кафедри двигунів внутрішнього згорання Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, e-mail: karyagin.in@gmail.com

Вовк Євгеній Геннадійович – аспірант кафедри двигунів внутрішнього згорання Харківського національного автомобільно-дорожного університету, Харків, Україна, e-mail: jake_vovk@ukr.net.

Думенко Петро Іванович – директор SIA «Digas», м. Рига, Латвійська Республіка, e-mail: p.dumenko@digasgroup.com.

УДК 621.436

DOI: 10.20998/0419-8719.2017.2.08

Р. Ариан, Х. Хотейт, И.А. Мордвинцева, О.Ю. Линьков, В.А. Пылев

ВЛИЯНИЕ ВЫБОРОК В ЗОНЕ КРОМКИ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ ПОРШНЯ НА ЕГО ТЕПЛОНАПРЯЖЕННОСТЬ И РЕСУРС ПО ПРОЧНОСТИ

Представлен анализ основных характерных повреждений поршней двигателей внутреннего сгорания, последующих отказов и причин, их вызывающих. Показано, что на сегодня имеют место случаи нарушения концы гарантированного обеспечения ресурса поршня на стадии его проектирования. Рассмотрены варианты формоизменения кромок камер сгорания поршней дизеля 4ЧН12/14. Применительно к условиям эксплуатации автомобильного и тракторного дизелей оценены границы ресурсной прочности альтернативных вариантов кромок камер сгорания.

Введение

Обеспечение заданного ресурса теплонапряженных деталей камеры сгорания (КС) в условиях

постоянного роста уровня форсирования двигателей является сложной научно-технической задачей. При этом существенное внимание уделяется оцен-

кам термонапряженного состояния, прогнозированию и обеспечению физической надежности поршня. Несмотря на это до последнего времени в практике рядовой эксплуатации двигателей имеют место случаи достижения предельного состояния и разрушения поршней двигателей, не выработавших свой заданный ресурс.

В целом характерные варианты потери физической надежности поршней можно разделить на две основные группы. К первой относятся износы, задиры и проплавы, ко второй – возникновение трещин в зоне кромок камер сгорания. Примеры указанных вариантов потери прочности поршней представлены на рис. 1,2.



Рис. 1. Примеры выходов из строя поршней из-за возникновения износов, задиров и проплавов



Рис 2. Примеры возникновения трещин в зоне кромок камер сгорания

В целом накопленный фактический материал позволяет осуществлять анализ причин выхода из строя поршней и на этой основе осуществлять поиск путей повышения надежности конструкций. При этом перед разработчиками стоит задача обеспечения заданного термонапряженного состояния

и, соответственно, ресурса поршня без значительных усложнений конструкции.

Анализ публикаций

Детальный анализ характерных повреждений поршней, последующих отказов и причин их вызывающих выполнен различными фирмами-производителями [1-3]. На сегодня спектр основных видов предельного состояния поршней достаточно широк. Это износ канавок поршневых колец, износ боковой поверхности поршня, задиры на головке и тронке поршня, проплав днища, проплав боковой поверхности, трещины в зоне кромки и на днище КС, другие предельные состояния.

По общему мнению специалистов, в первую очередь их связывают с перегревом поршней новых форсированных двигателей. При этом множество причин сверхрасчетного перегрева вызваны либо отказами в работе топливной, масляной систем либо системы охлаждения двигателя. С другой стороны, их связывают также с некачественным техническим обслуживанием либо ремонтом двигателей. Методы устранения указанных проблем разнообразны и практически не связаны с собственно особенностями конструкций поршней [4].

При этом важно, что возникновение трещин в зоне кромок КС выделяют в особую группу, так как их возникновение и развитие характерны для случаев технически исправных и (или) качественно отремонтированных двигателей. Анализ таких отказов, проведенных в частности фирмами KolbenSCHMIT, DFCDIESEL, а ранее ГСКБД, свидетельствует, что их основной причиной являются высокие перепады температур в поршне между различными режимами нагружения двигателя в эксплуатации. Особенно критичными здесь считаются условия эксплуатации транспортной и другой техники с часто меняющейся нагрузкой.

Ресурс кромки КС поршня двигателя конкретного назначения зависит от характерной совокупности переходных процессов сброса-наброса нагрузки, учитываемых в процессе проектирования и, соответственно, сложного характера изменения температуры и термических напряжений, моделируемых в процессе такого проектирования. При этом потеря прочности конструкции в эксплуатации свидетельствует, что на сегодня имеют место случаи нарушения концепции гарантированного обеспечения ресурса поршня на стадии его проектирования. Этим подтверждается высокая актуальность работы, и этим вызвана необходимость анализа мероприятий, направленных на повышение ресурса кромки КС.

В рамках действующей концепции необходи-

мо обеспечить повышение качества проектов, которое определяется совершенством применяемых математических моделей, маршрутов проектирования, учета локальных особенностей геометрии детали [5].

В последнее время получили распространение поршни, имеющие выборки в зоне кромки КС, например [6]. Выполненный в [7] анализ свидетельствует, что наличие выборок в окружном направлении кромки КС поршня приводит к снижению температуры кромки на величину, соизмеримую с эффектом масляного охлаждения.

Целью данной работы является определение влияния особенностей геометрии поршня в зоне кромки КС на ее теплонапряженность и ресурсную прочность. Основной задачей работы является поиск путей увеличения ресурса кромки КС поршня путем формоизменения конструкции в зоне кромки ее КС.

Решение поставленной задачи

Рассмотрены варианты формоизменения кромки КС, которые представлены на рис. 3. Для проведения вариантных расчетов был выбран поршень дизеля 4ЧН12/14.

На первом этапе исследований устанавливались стационарные поля температур и термических напряжений. Граничные условия задачи теплопроводности принимались согласно методике, приведенной в [8] и идентифицированы по результатам эксперимента для поршня варианта I-I со струйным масляным охлаждением.

Выполнены расчеты для уровней форсирования двигателя $N_{л} = 20$ кВт/л и $N_{л} = 25$ кВт/л. Рассмотрены варианты без масляного охлаждения (охлаждение масляным туманом) и с масляным охлаждением, струйным либо галерейным в зависимости от рассматриваемой конструкции. Результаты расчетов для зоны кромки КС представлены в табл. 1,2.

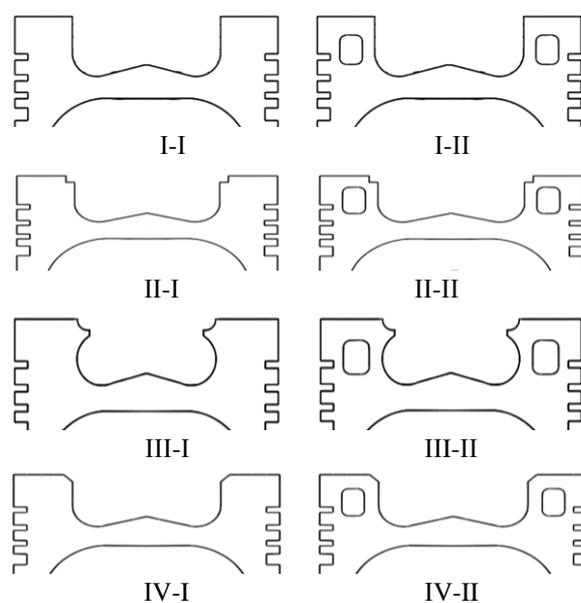


Рис. 3. Варианты конкурирующих конструкций поршней с выборками на кромках КС

Из табл. 1 видно, что температурное состояние поршня в зоне кромки КС существенно изменяется в зависимости от формы выборки. При этом для варианта IV-I с выборкой в виде фаски оно столь значительно, что соизмеримо с эффектом галерейного масляного охлаждения для поршня варианта I-II без выборки. Это хорошо видно при рассмотрении рядов 4 и 5 табл. 1.

Исходя из термических напряжений, представленных в табл. 2 видно, что выполнение фаски на кромке КС (вариант IV-II) также является предпочтительным решением относительно исходной конструкции варианта I-II.

Таблица 1. Температурное состояние поршней с отличиями в геометрии кромки КС, °С

№ n/n	№ варианта	Без охлаждения		С охлаждением	
		N _л =20 кВт/л	N _л =25 кВт/л	N _л =20 кВт/л	N _л =25 кВт/л
1	I-I	290	313	272	297
2	II-I	279	301	270	286
3	III-I	284	298	274	281
4	IV-I	273	294	264	280
5	I-II	273	300	263	282
6	II-II	269	291	259	276
7	III-II	275	290	260	268
8	IV-II	259	279	250	266

Таблица 2. Термические напряжения в зоне кромок КС поршней с галерейным масляным охлаждением, МПа

№ n/n	№ варианта	$N_n=20$ кВт/л	$N_n=25$ кВт/л
1	I-II	26,5	29
2	II-II	15,5	17
3	III-II	26	26,5
4	IV-II	20,5	24

Расчет термонапряженного состояния конструкции варианта IV-II при $N_n=35$ кВт/л показало, что температура кромки КС достигает 310°C , а термические напряжения – 32 МПа. Приведенные данные подтверждают высокую эффективность рассматриваемого мероприятия.

На втором этапе исследований выполнена оценка уровня накопленных повреждений d_{fs} в зоне кромки КС, вызванных усталостью и ползучестью материала. Расчеты проведены по методике [8] для поршней вариантов I-II и IV-II, выполненных из сплава АК12М2МгН.

Рассмотрены модели нестационарного нагружения автомобильного и тракторного двигателя [9]. Исходный уровень форсирования двигателя принимался равным 20 кВт/л. В расчетах литровая мощность двигателя повышалась до момента превышения материалом предела прочности, $d_{fs}=1$. Заданный ресурс до растрескивания кромки КС – 10000 часов.

Установлено, что в случае модели эксплуатации автомобильного дизеля заданный ресурс обес-

печивается для поршня варианта I-II при уровне форсирования двигателя $N_n=30$ кВт/л, а нового – при 33 кВт/л. Для тракторного дизеля третьей категории получены соответствующие уровни форсирования 29,5 и 32 кВт/л.

Зависимости накопленных повреждений d_{fs} в зоне кромки КС поршней вариантов I-II и IV-II тракторного дизеля от уровня его форсирования представлены на рис. 4. Видно, что формоизменение кромки может существенно увеличить запас прочности материала. Так, если для поршня исходной конструкции при $N_n=29$ кВт/л за 10000 часов эксплуатации накопленные повреждения достигают уровня $d_{fs}=0,8$, то для поршня с формоизменением кромки КС в виде фаски величина накопленных повреждений не превышает $d_{fs}=0,3$.

Таким образом, выполнение выборки в зоне кромки КС поршня является эффективным мероприятием, направленным на повышение его физической надежности и ресурса.

Выводы

В работе представлен анализ основных характерных повреждений поршней двигателей внутреннего сгорания, последующих отказов и причин, их вызывающих. Показано, что сегодня имеют место случаи нарушения концепции гарантированного обеспечения ресурса поршня на стадии его проектирования.

Рассмотрено влияние формоизменения кромок камер сгорания поршней дизеля 4ЧН12/14 на теплонапряженность кромок.

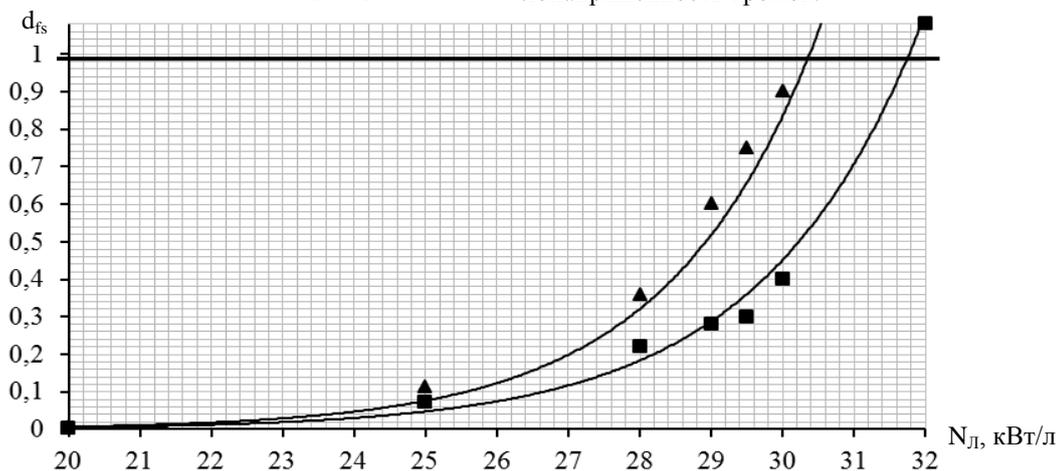


Рис. 4. Зависимости накопленных повреждений в зоне кромки КС поршней вариантов I-II и IV-II тракторного дизеля от уровня его форсирования

Применительно к условиям эксплуатации автомобильного и тракторного дизелей оценены границы ресурсной прочности альтернативных вариантов кромок камер сгорания.

Дальнейшее направление работ связано с повышением качества проектов, определяемого совершенством применяемых математических моделей и маршрутов проектирования в рамках концеп-

ції гарантованого забезпечення ресурса поршня на стадії його проектування.

Список літератури:

1. Повреждения поршней – как выявить и устранить их / Motor Marketing DIE NECKARPRINZEN GmbH, Heilbronn, 4изд., – 2015. – 92 с. 2. Анализ поврежденных деталей ДВС, DFCDIESEL / [Электронные ресурс]: <http://www.dfcdiesel.com/warranty-info/failure-analysis>. 3. Коваль И.А. Ускоренные испытания двигателей / И.А. Коваль, И.Ю. Вахтель, А.М. Диденко // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1974. – №12. – С. 3-5. 4. Хотдерман Д.Д. Автомобильные двигатели: теория и техническое обслуживание / Д.Д. Хотдерман, Ч.Д. Митчелл-мл. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. – 664 с. 5. Пылев В.А. Совершенствование методического обеспечения САПР поршня ДВС / В.А. Пылев, Ариан Р., Нестеренко И.А. // Двигатели внутреннего сгорания. – 2016. – №1. – с.33-39. 6. European patent application International publication number: WO 2015/177897 (26.11.2015 Gazette 2015/47) «Структура камеры сгорания для дизельного двигателя», 29.03.2017. 7. Пылев В.А. Влияние формоизменения выборок в зоне кромки камеры сгорания дизеля на температурное состояние кромки / Пылев В.А., Ариан Р. // Двигатели внутреннего сгорания. – 2016. – №2. – с.59-62. 8. 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. 9. Матвеев В.В. Оценка ресурсной прочности поршня в САПР с учетом эксплуатационных режимов работы двигателя / В.В. Матвеев, В.А. Пылев, А.Н. Клименко, А.А. Котуха // Двигатели внутреннего сгорания. – 2012. – №1. – с.120-123.

Bibliography (transliterated):

1. (2015). *Pistons damages - how to identify and eliminate them*. 4th ed. [Povrezhdeniya porshney – kak vyiyavit i ustranit ih. 4-e izd.], Motor Marketing DIE NECKARPRINZEN GmbH, Heilbronn, 92 p. 2. DFC Diesel “Failure-analysis”, available at: <http://www.dfcdiesel.com/warranty-info/failure-analysis> 3.Koval, I.A., Vahtel, I.U., Didenko, A.M. (1974), “Accelerated engine tests”, *Tractors and agricultural machinery* [“Uskorennyie ispytaniya dvigateley”, *Traktory i selhozmashinyi*], No. 12, pp. 3-5. 4. Hotderman, D.D., Mitchell-jr, Ch.D.. (2006), “Car engines: theory and maintenance” [“Avtomobilnyie dvigateli: teoriya i tehicheskoe obsluzhivanie”] Moscow, Williams, 664 p. 5. Pylyov, V.A., Arian, R., Nesterenko, I.A. (2016), “Perfection of methodical maintenance of CAD of the piston DVS”, *Internal combustion engines*, [“Sovershenstvovanie metodicheskogo obespecheniya SAPR porshnya DVS”, *Dvyhuny vnutrishn'oho zhoryannya*], № 1, pp. 33 – 39. 6. Uehara, Isshou, Hasegawa, Manabu, Tsuji, Naohide, NISSAN MOTOR CO., LTD. *Combustion chamber structure for diesel engine*. European patent application. EP 3 147 476 A1. 7. Pylyov, V.A., Arian, R. (2016), “Influence of the shape change of samples in the zone of the edge of the combustion chamber of the diesel engine on the temperature state of the edge”, *Internal combustion engines*, [“Vliyanie formoizmeneniya vyiborok v zone kromki kameryi sgoraniya dizelya na temperaturnoe sostoyanie kromki”, *Dvyhuny vnutrishn'oho zhoryannya*], № 2, pp. 59 – 62. 8. Pylov, V.A. (2001) *Automatic design of speed diesel engines piston with a specified level of long-term strength: Monograph* [Avtomatychne proektuvannya porshniv shvydkokhidnykh dyzeliv iz zadanyim rivnem tryvaloyi mitnosti: Monografiya], Kharkiv: Publishing center of NTU “KPI”, 332 p. 9. Matveenko, V.V., Pylyov, V.A., Klimenko, A.N., Kotuha, A.A. (2012), “Evaluation of the piston's life-time in CAD, taking into account the operating conditions of the engine”, *Internal combustion engines*, [“Otsenka resursnoy prochnosti porshnya v SAPR s uchetom ekspluatatsionnykh rezhimov rabotyi dvigatelya”, *Dvyhuny vnutrishn'oho zhoryannya*], № 1, pp. 120 – 123.

Поступила в редакцію 20.06.2017 г.

Ариан Расул – младший научный сотрудник кафедры двигателя внутреннего сгорания Национального технического университета «ХПИ», Харьков, Украина, e-mail: rasoul.aryan6970@gmail.com.

Хотейт Хассан – студент кафедры двигателя внутреннего сгорания Национального технического университета «ХПИ», Харьков, Украина, e-mail: hteit0hassane@gmail.com/

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

Линьков Олег Юрьевич – доцент кафедры двигателя внутреннего сгорания Национального технического университета «ХПИ», Харьков, Украина, e-mail: oleglinkov76@gmail.com

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

ВПЛИВ ВИБРОК В ЗОНІ КРОМКИ КАМЕРИ ЗГОРЯННЯ ПОРШНЯ НА ЙОГО ТЕПЛОАПРУЖЕНІСТЬ І РЕСУРС ПО МІЦНОСТІ

R. Arian, H. Hotait, I.O. Mordvintseva, O.Yu. Linkov, V.A. Pylyov

Представлений аналіз основних характерних ушкоджень поршнів двигунів внутрішнього згорання, подальших відмов і причин які їх викликають. Показано, що на сьогодні мають місце випадки порушення концепції гарантованого забезпечення ресурсу поршня на стадії його проектування. Розглянуто варіанти формозміни кромки камер згорання поршнів дизеля 4ChN12 / 14. Стосовно до умов експлуатації автомобільного та тракторного дизелів, оцінені межі ресурсної міцності альтернативних варіантів кромки камер згорання.

THE EFFECT OF SELECTIONS IN THE ZONE OF THE EDGE OF THE PISTON COMBUSTION CHAMBER ON ITS HEAT TENSION AND STRENGTH RESOURCES

R. Aryan, H. Hotait, I.O. Mordvintseva, O.U. Linkov, V.A. Pylyov

The analysis of the main typical damages of pistons of internal combustion engines, the subsequent refusals and the reasons of their defiant have been given. It is shown that for today cases of violation of the concept of the guaranteed providing a resource of the piston at a stage of its design take place. Options of forming of edges of combustion tubes of pistons of the diesel 4ChN12/14 are considered. In relation to operating conditions of automobile and tractor diesels borders of resource durability of alternative options of edges of combustion tubes are evaluated.