DOI: 10.18698/0236-3941-2016-3-81-89

УДК 621.436

Влияние частичной теплоизоляции камеры сгорания дизеля на теплоотдачу в систему охлаждения

Д.О. Онищенко[1], С.А. Панкратов[1], А.Ю. Смирнов[2]

[1] МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация
e-mail: doctor@baumanracing.ru; pankratov.bmstu@gmail.com
[2] Мытищинский машиностроительный завод, г. Мытищи, Московская обл., Российская Федерация

Приведены результаты экспериментального исследования базового двигателя и двигателя с частичной теплоизоляцией камеры сгорания. Для испытаний выбран двигатель, который планируется использовать в качестве вспомогательной силовой установки. Для теплоизоляции камеры сгорания использован слой диоксида циркония (0,15 мм) с никелевой подложкой, который наносился на огневые поверхности клапанов, поршня и головки цилиндров. Слой теплоизоляции обладает достаточной адгезией с материалами деталей: трещин и отслаивания после испытаний двигателя обнаружено не было. Показана возможность снижения отвода теплоты в охлаждающую жидкость и смазочную систему двигателя при незначительном увеличении расхода топлива, для чего надо изменить способ смесеобразования с пленочного на объемный, а также оптимизировать конструктивные и регулировочные параметры дизеля.

Ключевые слова: *дизель, теплоизоляция, камера сгорания, система охлаждения, диоксид циркония, теплообмен.*

Effect of the Partial Heat Insulation of the Diesel Engine Combustion Chamber on Heat Transfer into the Cooling System

D.O. Onishchenko[1], S.A. Pankratov[1], A.Yu. Smirnov[2]

[1] Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation
e-mail: doctor@baumanracing.ru; pankratov.bmstu@gmail.com
[2] Mytishchinskiy Machine Building Factory, Moscow Region, Russian Federation

The article looks at recent results of the experimental study of the basic engine and the engine with partial heat insulation of the combustion chamber. Engine D246.9 (4ChN 11,0/12,5), which is planned to be used as an auxiliary power unit, was selected for the experimental study. The zirconium dioxide layer (0,15 mm) with nickel

substrate was used for the heat insulation of the combustion chamber. The layer was applied to the valve, piston and the cylinder head surface. The heat insulation layer possesses a sufficient adhesion to the parts, consequently, no peeling or flaws occur. Findings of the research show the possibility of reducing the heat removal in the coolant and engine lubricating oil with a slight increase in fuel consumption. For this purpose, it is necessary to replace the film method of mixing with the volume method, as well as to optimize the design and tuning parameters of the diesel engine.

Keywords: *diesel, heat insulation, combustion chamber, cooling system, zirconium dioxide, heat transfer.*

При создании современных транспортных средств специального назначения существенное внимание уделяется компоновке двигателя в ограниченном объеме моторно-трансмиссионного отделения, особенно компоновке системы охлаждения: от более мощных двигателей требуется отвести большее количество теплоты, в то же время габаритные размеры системы охлаждения надо оставить в тех же диапазонах. В связи с этим возникает необходимость снижения отвода теплоты в охлаждающую жидкость. Этот вопрос становится все более актуальным из-за увеличения мощности двигателей, а также из-за замены в некоторых машинах газотурбинных вспомогательных силовых установок на дизельные (что делается для снижения расхода топлива и уменьшения теплового следа).

В качестве способа снижения отвода теплоты в систему охлаждения предлагается частичная теплоизоляция камеры сгорания (т. е. двигатель с уменьшенным отводом теплоты). Работы по созданию адиабатного двигателя проводятся как за рубежом, так и в России [1–9]. Несмотря на то что попытки создать полностью адиабатный двигатель не увенчались успехом, частичная теплоизоляция может помочь перераспределить потоки теплоты в двигателе тем самым увеличить располагаемую энергию отработавших газов и уменьшить отвод теплоты в охлаждающую жидкость. Кроме того, частичная теплоизоляция камеры сгорания может снизить негативное влияние нагара, тепловые нагрузки на детали камеры сгорания, выбросы углеводородов.

Для модернизации был выбран двигатель Д246.9 (4ЧН 11,0/12,5) Минского моторного завода. Этот двигатель отличается низкой ценой, простотой обслуживания и высокой надежностью. Параметры двигателя следующие: четырехтактный со свободным газотурбинным наддувом и охлаждением наддувочного воздуха, номинальная мощность 80 кВт при 1800 мин$^{-1}$, степень сжатия 17, удельный эффективный расход топлива на режиме номинальной мощности 210 г/(кВт · ч); топливная система распределительного типа (рядный четырехсекционный топливный насос высокого давления и закрытые форсунки); камера сгорания типа ЦНИДИ.

Для частичной теплоизоляции камеры сгорания на огневые поверхности головки цилиндра, поршня и клапанов методом плазменного напыления был нанесен слой диоксида циркония (λ = 1,6 Вт/(м · К)) со

стабилизирующей добавкой иттрия (7…8 %) [1]. После нанесения покрытия было проведено шлифование. Толщина слоя составляла 0,15 мм (на поверхности камеры в поршне, которая не подвергалась шлифованию, толщина 0,2 мм). Диоксид циркония наносили на никелевый подслой толщиной 0,1 мм. Детали с напылением показаны на рис. 1. Для сохранения рабочего объема и степени сжатия перед нанесением покрытия с поршня снят слой металла.

Рис. 1. Детали с напылением

После проведения испытаний отслаивания теплоизоляции обнаружено не было, что указывает на хорошую адгезию материалов покрытия и деталей.

Испытания проводились на Мытищинском машиностроительном заводе. Стенд (рис. 2) состоит из: дизеля; системы предпускового подогрева двигателя (дизельного подогревателя охлаждающей жидкости); системы охлаждения двигателя (блока радиаторов и расширительного бачка); топливной системы двигателя (топливного бака, подкачивающего насоса и весового расходомера); впускной системы (воздухоочистителя с бумажными фильтрующими элементами); нештатной выпускной системы (приемника отработавших газов и гибкого выпускного трубопровода); согласующего редуктора между двигателем и блоком генераторов; силовой системы электропитания (блока генераторов); нагрузочного устройства для силовой системы электропитания; электрической схемы управления (щитка управления, датчиков и сигнализаторов, установленных на двигателе и редукторе).

Результаты испытаний базового двигателя и двигателя с частичной теплоизоляцией камеры сгорания приведены в табл. 1 и 2. Из таблиц (режим 4, см. табл. 1, и режим 12, см. табл. 2) следует, что применение теплоизоляции приводит к увеличению расхода топлива и повышению теплоотдачи в охлаждающую жидкость. Это можно объяснить более долгим испарением топлива за счет того, что при попадании топлива на поршень слой диоксида циркония охлаждается из-за низкого коэффициента проникновения теплоты, что ухудшает условия испарения. В то же время теплоотдача в смазочную систему снижается.

Рис. 2. Стенд:

1 — блок генераторов; *2* — согласующий редуктор; *3* — топливный бак с весовым расходомером; *4* — двигатель; *5* — расширительный бачок; *6* — расходомер воздуха; *7* — выпускной трубопровод

В результате эксперимента выявили, что использование частичной теплоизоляции камеры сгорания без изменения конструктивных и регулировочных параметров двигателя не приводит к желаемому результату. Для достижения поставленной цели (снижения теплоотдачи в охлаждающую жидкость) на следующем этапе работы планируется проведение дополнительных расчетных и экспериментальных исследований с изменением регулировочных и конструктивных параметров двигателя.

Для улучшения испарения топлива предлагается изменить способ смесеобразования с пленочного на объемный. Это можно осуществить путем внесения изменений в конструктивные параметры двигателя: распылитель форсунки и форму камеры сгорания. Согласно исследованиям, проведенным ранее в МГТУ им. Н.Э. Баумана на подобном двигателе [2], путем оптимизации конструктивных и регулировочных параметров можно добиться перераспределения тепловых потоков в двигателе (снизить теплоотдачу в охлаждающую жидкость) при сохранении удельного эффективного расхода топлива. Кроме того, можно существенно улучшить эффективные показатели двигателя за счет увеличения энергии отработавших газов с помощью частичной теплоизоляции камеры сгорания [2].

Таблица 1

Результаты испытаний базового двигателя

Номер режима	Продолжительность, мин	Частота вращения, мин$^{-1}$	Расход охлаждающей жидкости, л/с	Расход топлива, кг/ч	Температура, °С						Давление, бар			Впуск		Температура в радиаторе ОЖ, °С	
					выхлопных газов	воды в двигателе	масла в двигателе	масла в редукторе	топлива	воздуха перед радиатором	масла в двигателе	масла в редукторе	наддува	Сопротивление, мм в. ст.	Расход воздуха, м^3/ч	на входе	на выходе
1	25	1827	1,9	14	443	87	112	64	26	38	2,7	2,6	0,46	440	370	90	85,7
2	15	1837	1,9	12	425	89	113,7	65	26	39	2,7	2,8	0,37	390	351	90,3	86,2
3	–	1867	1,9	–	300	81	108	63	26	39	3,1	3	0,01	230	272	80,5	76,6
4	15	1886	1,9	15,5	481	88	113	61	25	35	2,7	2,7	0,57	465	581	91,8	87,3
5	15	1839	1,9	12,1	467	84	111	61	25	35	2,9	2,8	0,37	400	353	85,5	81,5
6	15	1858	–	6,7	259	76	101	58	24	35	3,2	2,9	0,1	280	295	78,1	64,9
7	–	1868	–	4	220	74	96	55	23	34	3,5	3	0	230	270	75,8	50,9

Номер режима	Температура, °С						Мощность двигателя, кВт	Удельный эффективный расход топлива, кг/(кВт · ч)	Крутящий момент, Н · м
	масла в радиаторе		воздуха в радиаторе		окружающей среды	воздуха на входе в радиатор			
	на входе	на выходе	на входе	на выходе					
1	65,1	61	109,2	72	38,6	38,9	65	0,215	339,9
2	66,4	62,3	101,3	68,8	40,9	40	55	0,218	285,7
3	63,8	60	65,9	52,8	40,6	39,6	–	–	–
4	62,5	58,5	117,6	74	36,5	36,9	70,8	0,219	358,7
5	62,4	58,5	97,6	64	37,2	37	54	0,224	280,6
6	58,8	55,6	68,7	50	36,4	36,4	30,8	0,218	158,2
7	55,2	52,3	56,8	44	35,4	34,9	Холостой ход		

Таблица 2

Параметры двигателя с частичной теплоизоляцией камеры сгорания

Номер режима	Продолжительность, мин	Частота вращения, $мин^{-1}$	Расход топлива, кг/ч	Температура, °С						Давление, бар			Впуск	
				выхлопных газов	воды в двигателе	масла в двигателе	масла в редукторе	топлива	воздуха в ресивере	масла в двигателе	масла в редукторе	наддува	Сопротивление, мм в. ст.	Расход воздуха, $м^3/ч$
1	10	1905	4,8	–	67	–	38	25	26	4,11	2,01	0,03	200	–
2	15	1870	8	–	78	–	41	29	27	3,69	1,97	0,21	250	–
3	10	1825	13,1	–	85	–	50	36	30	2,95	1,9	0,38	350	–
4	10	1818	14,4	–	86	–	54	40	33	2,86	1,82	0,43	380	–
5	15	1803	16,6	–	88	–	57	27	35	2,69	1,8	0,47	430	–
6	10	1800	19,2	–	92	–	60	27	36	2,6	1,82	0,54	460	–
7	–	1903	4,9	225,1	69	75,7	36	20	34	4,14	1,96	0,03	270	286
8	15	1873	8	–	83	99,4	43	22	43	3,31	1,91	0,2	330	325
9	15	1823	12,9	416,9	85	106,6	50	24	56	2,97	1,83	0,43	450	373
10	10	1817	14,1	441	85	109,3	54	25	61	2,87	1,78	0,49	470	385
11	10	1808	16,3	481,2	87	112,7	57	25	68	2,73	1,75	0,63	530	411
12	10	1799	17,9	507	89	115,4	60	26	73	2,64	1,75	0,72	580	429
13	–	1790	18,8	526,2	92	118,6	62	27	77	2,53	1,76	0,78	610	441

Окончание табл. 2

Температура, °С								Мощность двигателя, кВт	Удельный эффективный расход топлива, кг/(кВт · ч)	Крутящий момент, Н · м
охлаждающей жидкости в радиаторе		масла в радиаторе		воздуха в радиаторе		окружающей среды	воздуха на входе в радиатор			
на входе	на выходе	на входе	на выходе	на входе	на выходе					
–	–	–	–	–	–	–	–	Холостой ход		
–	–	–	–	–	–	–	–	30,8	0,26	157,1
–	–	–	–	–	–	–	–	52,6	0,249	275,5
–	–	–	–	–	–	–	–	57,5	0,250	302
–	–	–	–	–	–	–	–	65,5	0,254	346,7
–	–	–	–	–	–	–	–	70,7	0,272	375
71,7	28,7	37,1	36	50,9	34,8	27,2	27	Холостой ход		
89,8	38,4	44,3	42,5	71,4	44	30,6	30	30,8	0,26	156,9
88,8	59	51,2	48,7	100,2	57,3	33,7	32,8	53,6	0,241	280,6
89,4	68,7	54,7	52,1	108,4	61,9	35,7	34,9	57,8	0,244	303,9
91,1	81,4	58,2	56,3	123	69,2	37,2	36,8	65,8	0,248	347,7
92,9	86,4	60,9	57,9	133,6	74,8	38,7	38,3	70,5	0,254	374,2
96,3	30,4	63,3	60,1	141,1	79	40,8	39,7	73,8	0,255	393,7

ЛИТЕРАТУРА

1. *Кавтарадзе Р.З.* Локальный теплообмен в поршневых двигателях. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. 472 с.
2. *Онищенко Д.О.* Улучшение эффективных и экологических показателей дизеля и снижение тепловых нагрузок на его основные детали: дис. … д-ра техн. наук. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013.
3. *Шпаковский В.В.* Влияние частично-динамической теплоизоляции на температурное состояние поверхности поршня // Двигатели внутреннего сгорания. 2010. № 2. С. 92–95.
4. *Kamo R., Bryzik W.* Cummins Advanced Adiabatic Engine // SAE Technical Paper Series. TACOM. 1984. No. 840428. 14 p.
5. *Bryzik W., Kamo R.* Cummins Adiabatic Engine Program // SAE Technical Paper Series. TACOM. 1983. No. 830314. 25 p.
6. *Complete* ceramic swirl chamber for passenger car diesel engine / Y. Ogawa, T. Ogasawara, M. Machida, Y. Tsukawaki, K. Shimono // Shimonok SAE Technical Paper Series. 1987. No. 870650. P. 243–250.
7. *Теплофизические* свойства керамик на основе нитрида кремния при высоких температурах / А.В. Смотрицкий, В.Е. Зиновьев, А.А. Старостин, И.Г. Коршунов, В.Я. Петровский // Теплофизика высоких температур. 1996. Т. 34. № 4. С. 546–550.
8. *Groth K., Thiemann W.* Beitrag zur Brennraumisolierung bei Viertaktdieselmotoren // MTZ. Teil 1. 1983. No. 5. S. 189–197; Teil 2. 1983. No. 7–8. S. 287–289.
9. *Шерепова Н.В., Захаров С.А.* Теоретический и экспериментальный анализ сопротивления термоударам деталей камер сгорания из конструкционной керамики // Двигателестроение. 1991. № 6. С. 40–42.

REFERENCES

[1] Kavtaradze R.Z. Lokal'nyy teploobmen v porshnevykh dvigatelyakh [Local Heat Transfer in Piston Engines]. Moscow, MGTU im. N.E. Baumana Publ., 2007. 472 p.

[2] Onishchenko D.O. Uluchshenie effektivnykh i ekologicheskikh pokazateley dizelya i snizhenie teplovykh nagruzok na ego osnovnye detali. Diss. dokt. tekh. nauk [Improving Diesel Efficiency and Environmental Performance and Reducing Thermal Loads on Its Main Parts. Dr. tech. sci. diss.]. Moscow, MGTU im. N.E. Baumana, 2013.

[3] Shpakovskiy V.V. Effect of Partially Dynamic Thermal Insulation on the Thermal State of the Piston Surface. *Dvigateli vnutrennego sgoraniya* [Internal Combustion Engines], 2010, no. 2, pp. 92–95 (in Russ.).

[4] Kamo R., Bryzik W. Cummins Advanced Adiabatic Engine. *SAE Technical Paper Series. TACOM*, 1984, no. 840428. 14 p.

[5] Bryzik W., Kamo R. Cummins Adiabatic Engine Program. *SAE Technical Paper Series*. *TACOM*, 1983, no. 830314. 25 p.

[6] Ogawa Y., Ogasawara T., Machida M., Tsukawaki Y., Shimono K. Complete ceramic swirl chamber for passenger car diesel engine. *Shimonok SAE Technical Paper Series*, 1987, no. 870650, pp. 243–250.

[7] Smotritskiy A.V., Zinov'ev V.E., Starostin A.A., Korshunov I.G., Petrovskiy V.Ya. Thermal properties of silicon nitride-based ceramics at high temperatures. *High Temperature*, 1996, 34:4, pp. 541–545.

[8] Groth K., Thiemann W. Beitrag zur Brennraumisolierung bei Viertaktdieselmotoren. *MTZ. Teil 1*, 1983, no. 5, pp. 189–197; *Teil 2*, 1983, no. 7–8, pp. 287–289.

[9] Sherepova N.V., Zakharov S.A. Theoretical and experimental analysis of resistance to thermal shocks of combustion chamber details made of construction ceramics. *Dvigatelestroenie* [Engine Building], 1991, no. 6, pp. 40–42 (in Russ.).

Статья поступила в редакцию 26.01.2015

Онищенко Дмитрий Олегович — д-р техн. наук, профессор кафедры «Поршневые двигатели» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5).

Onishchenko D.O. — Dr. Sci. (Eng.), Professor of Piston Engines Department, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, Moscow, 105005 Russian Federation).

Панкратов Сергей Александрович — аспирант кафедры «Поршневые двигатели» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5).

Pankratov S.A. — post-graduate student of Piston Engines Department, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, Moscow, 105005 Russian Federation).

Смирнов Алексей Юрьевич — технический директор Мытищинского машиностроительного завода (Российская Федерация, 141009, Московская обл., г. Мытищи, ул. Колонцова, д. 4).

Smirnov A.Yu. — technical director of Mytishchinskiy Machine Building Factory (ul. Koloncova 4, Mytishchi, Moscow Region, 141009 Russian Federation).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Онищенко Д.О., Панкратов С.А., Смирнов А.Ю. Влияние частичной теплоизоляции камеры сгорания дизеля на теплоотдачу в систему охлаждения // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2016. № 3. С. 81–89. DOI: 10.18698/0236-3941-2016-3-81-89

Please cite this article in English as:

Onishchenko D.O., Pankratov S.A., Smirnov A.Yu. Effect of the Partial Heat Insulation of the Diesel Engine Combustion Chamber on Heat Transfer into the Cooling System. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Baumana, Mashinostr*. [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Mech. Eng.], 2016, no. 3, pp. 81–89. DOI: 10.18698/0236-3941-2016-3-81-89