

УДК 621.43.016.4

В.В. ШПАКОВСКИЙ, д.т.н., НТУ «ХПИ»

ВЛИЯНИЕ КОРУНДОЭЛЕКТРЕТА, ОБРАЗОВАННОГО НА ПОВЕРХНОСТИ ПОРШНЯ НА ПРОЦЕСС ГОРЕНИЯ ТОПЛИВА В КАМЕРЕ СГОРАНИЯ ДВС

Наведено аналіз впливу корундової теплоізоляції поршнів камери згорання двигунів внутрішнього згорання на підвищення потужності двигунів і зниження витрати палива. На підставі експериментальних стендових досліджень тракторного дизеля й тривалих експлуатаційних ресурсних випробувань тепловозних дизелів зроблена спроба пояснення причин підвищення ефективності роботи дизелів з погляду теорії автотермічного горіння.

Постановка проблемы и связь с научными и практическими задачами. Исследованиями, выполненными на кафедре ДВС НТУ «ХПИ» установлено, что применение поршней с керамическим покрытием днища поршня и с поршнями с модифицированной поверхностью корундовым слоем рациональной толщины приводит к повышению эффективности работы двигателей. Однако нет убедительного объяснения механизма влияния корундовой рабочей поверхности поршней на снижение эффективного расхода топлива и повышение мощности ДВС.

Анализ публикаций. Экспериментальные исследования дизелей, с поршнями с керамическим покрытием продемонстрировали снижение эффективного расхода топлива и повышение мощности [1], [2]:

- 1Ч 18/22 снижение g_e составило 7–9 г/(кВт·час);
- 1ЧН18/20 на 2,7 г/(кВт·час);
- 2ЧН21/21 на 5,44 г/(кВт·час);
- 1Ч 24/36 на 2,5–13 г/(кВт·час);
- 1ЧН 25/34 на 5–8г/(кВт.час);
- Д20 на 3–10г/(кВт.час);
- Д-240Л на 6,6%, увеличилась максимальная мощность на 8,66%;
- Д65НТ1 на 5,1%, увеличилась развиваемая мощность на 4,4%.

На двигателе МеМз-245 снижение g_e составило до 10%; на двухтактном двигателе снижение g_e 3,2%, на 6% увеличилась максимальная мощность. Объяснения этого эффекта каталитическим воздействием керамического покрытия на параметры рабочего цикла без раскрытия механизма катализа не совсем убедительны.

Цель исследований. На основании экспериментальных стендовых испытаний тракторного дизеля, эксплуатационных испытаний тепловозного дизеля и теории горения Е.И. Андреева сделать попытку объяснить механизм каталитического влияния корундовой (с электретными свойствами) рабочей поверхности поршня на снижение эффективного расхода топлива и повышение мощности ДВС.

Обоснование научных и практических результатов. На кафедре ДВС НТУ «ХПИ» проведены исследования работы дизеля с поршнями с корундовым слоем [3]. Было показано, что происходит увеличение максимального давления цикла на 0,5 МПа (рис.1), изменяется индикаторный КПД (рис.2) и среднее индикаторное давление (табл.1).

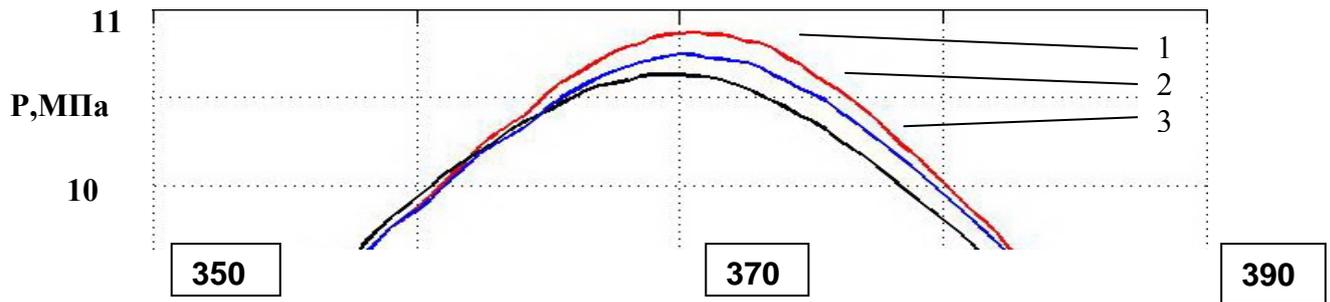


Рисунок 1 – Фрагмент индикаторной диаграммы дизеля 4ЧН12/14
 $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$, $p_e = 0,95 \text{ МПа}$.

- 1 – корундовый слой на всей поверхности поршня,
- 2 – только на доньшке,
- 3 – серийный поршень

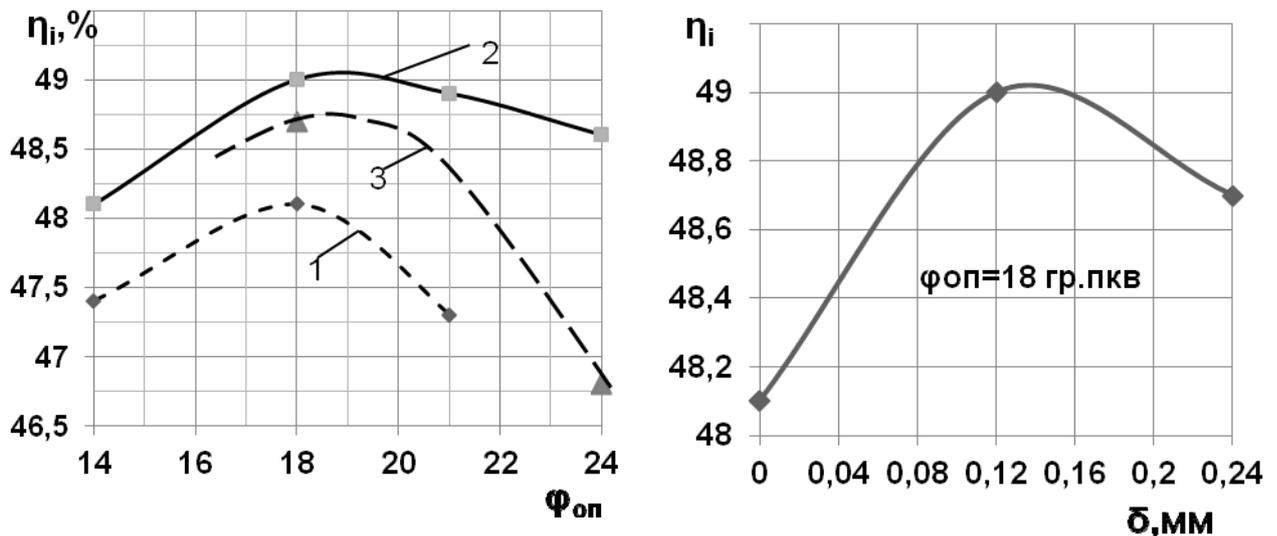


Рисунок 2 – Индикаторный КПД дизеля 4ЧН12/14 $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$, $p_e = 0,95 \text{ МПа}$
 1 – серийные поршни; 2 – с корундовым слоем толщиной $\delta=0,12 \text{ мм}$;
 3 – с корундовым слоем толщиной $\delta=0,240 \text{ мм}$

Таблица 1 – Среднее индикаторное давление в цилиндрах

№ режима	$n, \text{ мин}^{-1}$	$p_e, \text{ МПа}$	$p_i, \text{ МПа}$	
			штатный	опытный
1	2000	0,95	1,38	1,28
2		0,70	1,06	1,01
3		0,47	0,80	0,81
4		0,24	0,63	0,62
5		0,10	0,47	0,47
6	1500	1,07	1,29	1,24
7		0,81	1,02	0,99
8		0,54	0,76	0,71
9		0,28	0,49	0,49
10		0,14	0,42	0,38

Уменьшаются механические потери в ЦПГ дизеля [4] и снижается массовый выброс твёрдых частиц с отработавшими газами на 19 – 30% [5].

В работе [3] с точки зрения общепринятой теории горения дано объяснение улучшения перечисленных параметров. Однако испытания тепловозного дизеля с поршнями с корундовым слоем продемонстрировали значительное улучшение эффективности его работы.

Так, реостатные испытания дизеля тепловоза с корундовыми поршнями после наработки 114676 моточасов и проведения ТР-3 показали, что его реостатная мощность на 40 -150 кВт превышает мощность дизеля с новыми серийными поршнями [3]. Превышение мощности дизеля с поршнями с корундовым слоем на низких режимах может достигать более 50%. При переходе на более высокие режимы превышение мощности снижается до 20%. Такое превышение мощности общепринятой теорией горения объяснить затруднительно. Этот эффект трудно объяснить только снижением потерь тепла и уменьшением механических потерь.

В результате стендовых испытаний дизеля 4ЧН12/14, выполненных на кафедре ДВС НТУ «ХПИ» установлено, что применение поршней модифицированной поверхностью корундовым слоем рациональной толщины приводит к некоторому снижению расхода топлива. Однако реостатные испытания тепловозных дизелей, выполняемые в депо Харьков-Сортировочный на протяжении 18 лет показали повышение мощности и значительное снижение эффективного расхода топлива дизеля тепловоза при установке поршней с корундовым слоем. В процессе реостатных испытаний проводились замеры расхода топлива прибором «АИРТ-2», разработанным Украинской Государственной Академией железнодорожного транспорта и фирмой «РЕКОРД», поверенным ДП «Харківстандарт- метрологія» (Свидетельство №3383 от 09.07.2008 г.). Результаты замеров часового расхода топлива приведены в таблице 2 и рис.3.

Таблица 2 – Часовой расход топлива

Позиция контроллера	Число оборотов дизеля n, мин ⁻¹	Часовой расход топлива	
		Серийного дизеля В _ч кг/час	С поршнями с корундовым слоем В _{чк} кг/час
2	280	11,4	
2	290		15
3	330		34,2
3	350	28,2	
4	410		69,6
4	420	53,4	
5	460	89,4	
5	480		103,8
6	550		137,4
6	560	123	
7	610	138,6	
7	620		159
8	680	187,8	
8	690		191,4

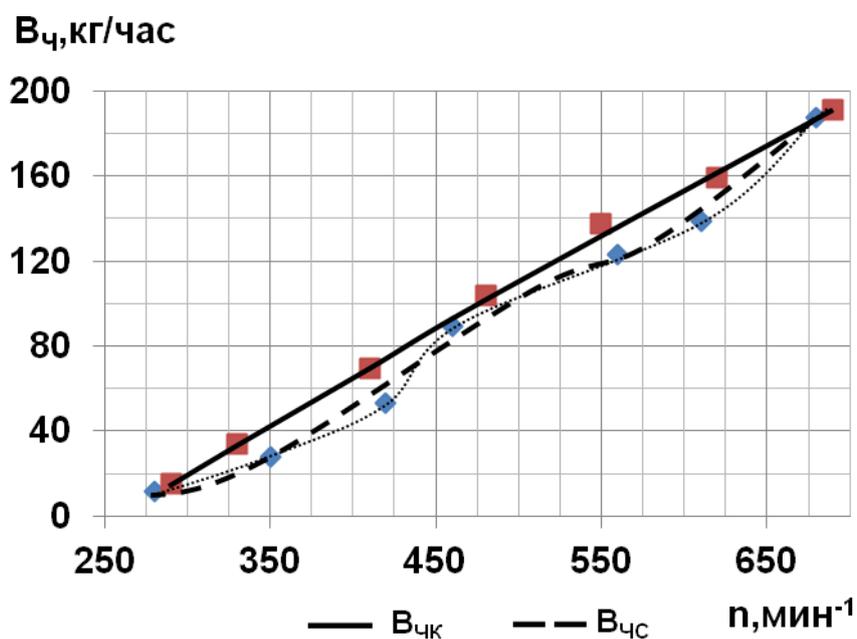


Рисунок 3 – Часовой расход топлива серийного дизеля $V_{чс}$ с новой ЦПГ и дизеля с поршнями с корундовым слоем $V_{чк}$ после наработки 114676 моточасов

В таблице 3 приведены значения удельного реостатного (тягового) расхода топлива серийного дизеля с новой ЦПГ (g_r) и дизеля с поршнями с корундовым слоем (g_{rk}) после наработки 114676 моточасов, а на рис. 4 - 6 приведены графики удельного реостатного (тягового) расхода топлива.

Таблица 3

режим	$n, \text{мин}^{-1}$	g_r	g_{rk}
2	280	1194,9	
2	290		505,9
3	330		437,6
3	350	579,5	
4	410		271,3
4	420	286	
5	460	299	
5	480		237,7
6	550		264,9
6	560	278	
7	610	245,7	
7	620		215,3
8	680	296	
8	690		255,5

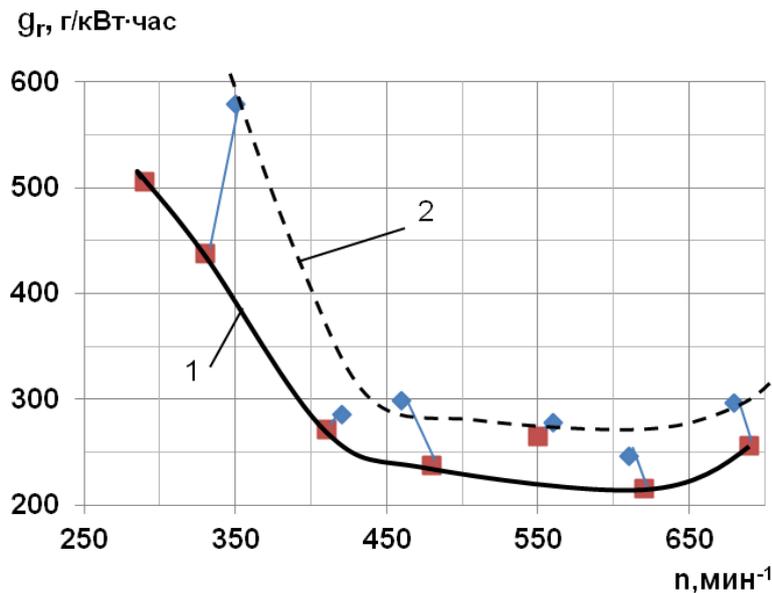


Рисунок 4 – Удельный реостатный (тяговый) расход топлива дизелей тепловозов ЧМЭ-3

- 1 – с поршнями с корундовым слоем после наработки 114676 моточасов,
- 2 - серийного дизеля с новой ЦПГ

Значительное снижение удельного тягового расхода топлива дизеля тепловоза ЧМЭ-3 при установке поршней с корундовым слоем происходит на 2, 3 и 4 режимах. Маневровый тепловоз основном и работает на низких режимах. Так на 4 режиме при $n = 410 - 420 \text{ мин}^{-1}$ удельный тяговый расход топлива снижается на 60-70 г/(кВт·час) (рис.5), т.е примерно на 20% (рис.6).

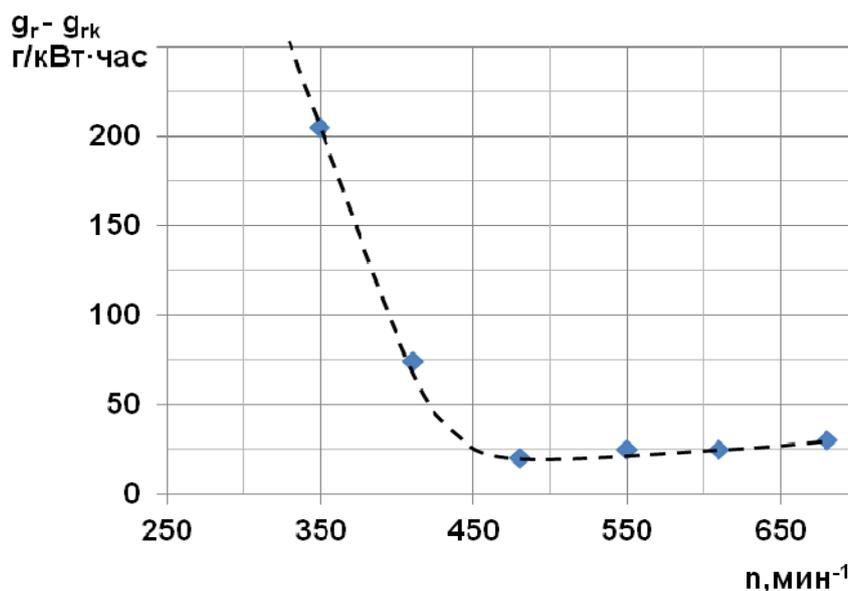


Рисунок 5 – Величина снижения удельного реостатного (тягового) расхода топлива (г/кВт·ч) дизеля тепловоза ЧМЭ-3 на разных режимах при установке поршней с корундовым слоем

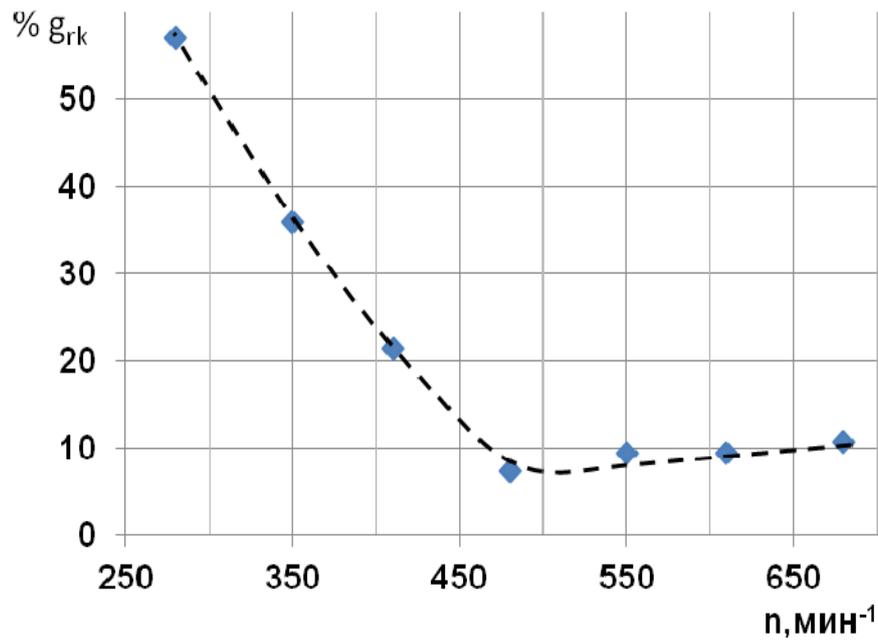


Рисунок 6 – Процент снижения удельного реостатного (тягового) расхода топлива дизеля тепловоза ЧМЭ-3 при установке поршней с корундовым слоем

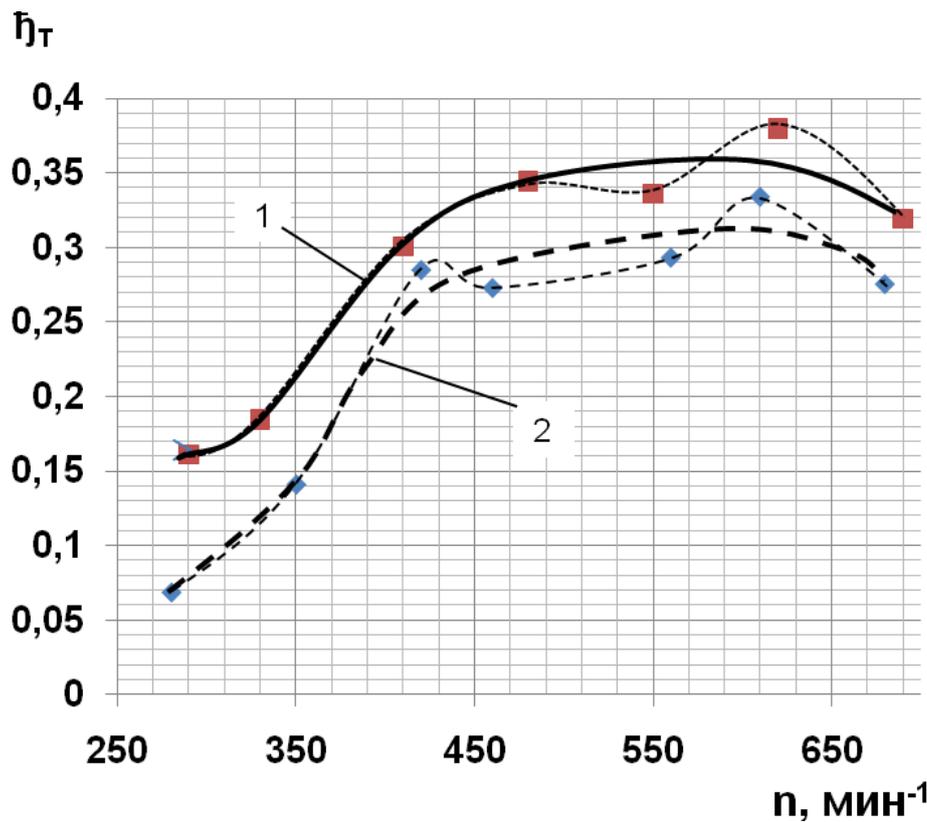


Рисунок 7 – Реостатный (тяговый) КПД дизелей тепловозов ЧМЭ-3 с поршнями с корундовым слоем (η_{TK}) после наработки 114676 моточасов и серийными с новой ЦПГ (η_{TC}).

Максимальное значение реостатного (тягового) КПД дизеля тепловоза ЧМЭ-3 с поршнями с корундовым слоем достигает 36%, а дизеля тепловоза с серийными поршнями 31%. (рис.7). Практически на 5 - 8 режимах тяговый КПД дизеля с поршнями с корундовым слоем на 5% выше (рис.8).

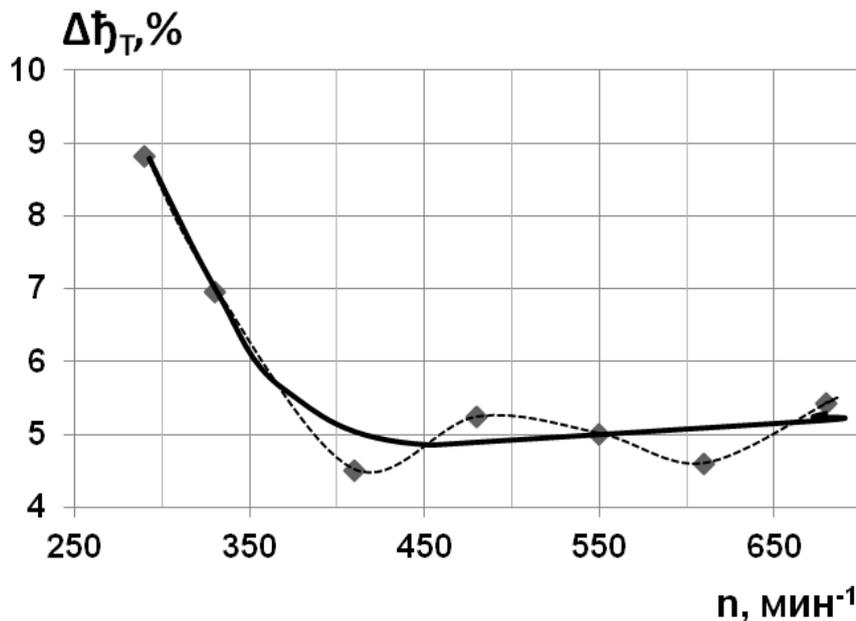


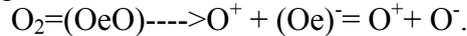
Рисунок 8 – Превышение реостатного (тягового) КПД дизеля с поршнями с корундовым слоем после наработки 114676 моточасов над КПД дизеля с серийными поршнями.

Значительное снижение расхода топлива с точки зрения теории автотермического горения, разработанной Е.И. Андреевым в 2000 г. [13] можно объяснить следующим. В камере сгорания вместе с топливом горит кислород воздуха. Физический механизм процесса энерговыделения разработал Д.Х. Базиев в 1982 г. Им были открыты мельчайшие частицы электрино с зарядом $\varepsilon = 1,9876643 \cdot 10^{-27}$ Кл, находящиеся вокруг атомов веществ. Позже они были получены экспериментально Российской Академией Наук.

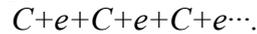
На основе этого механизма энерговыделения была предложена теория автотермического горения, а в 2001 г. автотермическое горение было осуществлено на карбюраторном двигателе автомобиля ВАЗ-2106 с экономией топлива от 30 до 70%. Пока результаты работы нескольких десятков автомобилей нестабильны. При любом изменении режимов работы двигателя или перегазовках автотермический режим пропадает. Необходима новая настройка на автотермический режим работы двигателя. После каждых 1000 км пробега должна производиться подрегулировка двигателя. Слой катализатора из угольной пыли (~20 мкм), нанесенный на стенки цилиндра, обеспечивает работу двигателя в автотермическом режиме при пробеге автомобиля до 4000 – 5000 км, т.е. в течение ~100 моточасов, а затем каталитический эффект пропадает.

Теория горения Е.И. Андреева. позволила установить источник энергии, выделяющейся при взрыве кислорода, разряде молнии, в электрической дуге, а в данной работе – получение дополнительной энергии при эксплуатации дизеля маневрового тепловоза с поршнями с корундовым слоем.

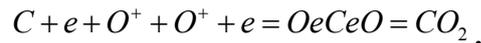
В процессе сгорания происходит повышение температуры в локальной области КС, что приводит к образованию плазмы (состоянию разогретого, ионизированного, раздробленного на атомы газа). При попадании в плазму молекулы газа диссоциируют на атомы. Молекулы кислорода воздуха разрушаются на положительно заряженный атом (ион) и отрицательно заряженный ион



Углеродные цепочки топлива разрушаются на атомы



На каждый атом углерода приходится по одному электрону связи, который становится свободным. Свободный, отрицательно заряженный электрон, полученный в плазме горения от топлива, вырывает из атома кислорода значительно более мелкие положительно заряженные частицы электроно. Он становится генератором энергии. Вокруг него формируется электронная глобула (электрон, окружённый атомами кислорода). При каждом взаимодействии с электроном атом O^+ излучает одно электроно. Обладающее высокой скоростью ($\sim 10^{16}$ м/с), электроно отдаёт свою кинетическую энергию (энергию связи в составе нейтрона) окружающим атомам и частицам электродинамически или при непосредственных столкновениях. Затем превращается в фотон и со скоростью света $\sim 10^8$ м/с удаляется из зоны реакции в пространство. Продукты реакции объединяются в соединение CO_2 .



Эта реакция является следствием процесса горения.

Таким образом, при горении топлива идет реакция частичного расщепления кислорода, где на один атом кислорода приходится только один свободный электрон от топлива. За счет энергии связи его элементарных частиц и выделяется тепловая энергия. Для увеличения выделяемой тепловой энергии нужны дополнительные свободные электроны. Так как кислород имеет 16 атомных единиц массы, то для более полного расщепления атома кислорода необходимы ещё свободные электроны. Поставщиком электронов в плазму горения может служить корундовый слой, образованный на огневой поверхности поршня и являющийся корундоэлектретом. Он имеет поверхностный заряд плотностью $\sigma = -3,9 \cdot 10^{-8}$ Кл/см². На 1 см² его поверхности находится $2,434 \cdot 10^{11}$ электронов:

$$\sigma/e = -3,9 \cdot 10^{-8} / -1,6021892 \cdot 10^{-19} \approx 2,434 \cdot 10^{11} \text{ н/см}^2,$$

где $e = -1,6021892 \cdot 10^{-19}$ Кл – заряд электрона.

При использовании поршней с корундовым слоем, в период диффузионного сгорания происходит увеличение температуры газа в КС на 30 К [13], а на корундовой поверхности поршня на 60 К, что позволяет получить плазму с повышенной концентрацией ионизирующего воздействия и ускоряет процесс диссоциации молекул газа на атомы.

Избыточный заряд газа в основном положительный, а избыточный заряд корундоэлектрета отрицательный. Притяжение молекул газа к корундовой поверхности усиливается, их скорость многократно увеличивается, что приводит к усилению удара молекул о корундовую поверхность и разрушению самой молекулы. Действуя как катализатор, корундовый слой способствует разрушению крупных молекул на мелкие фрагменты. Уменьшается энергия активации начала цепной реакции распада молекул кислорода. Свободные электроны, полученные в плазме горения от топлива, начинают реакцию частичного расщепления кислорода. Затем происходит взаимодействие атомов кислорода с электронами корундового слоя. Когда с поверхности корундового слоя в

зону плазми горення кислорода попадають додаткові електрони, відбувається більш повне частинкове розщеплення атомів кислорода, що і призводить до виділення додаткової теплової енергії. В процесі експлуатації відбувається поступове зниження підвищення потужності дизеля. Це пояснюється зменшенням електричного впливу корундового шару на процес згорання.

Висновки

По теорії горення Е.І. Андреева підвищення потужності ДВС з поршнями з корундовим шаром можна пояснити впливом корундового шару на огневу поверхню КС, який:

-дозволяє підвищити температуру газу в КС, що прискорює процес диссоціації молекул газу на атоми;

- являясь електриком, доставляє додаткові вільні електрони в зону плазми горення кислорода, що призводить до більш повного частинкового розщеплення атомів кислорода, додатковому виділенню теплової енергії і підвищенню ефективності двигача.

Список літератури: 1. *Костин А.К.* Теплонапруженість двигачей внутрішнього згорання / *Костин А.К., Ларионов В.В., Михайлов Л.И.* – Л.: Машиностроение. 1978. – 119 с. 2. *Никитин М.Д.* Теплозахисні і зносостійкі покриття деталей дизелів / *Никитин М.Д., Кулик А.Я., Захаров Н.И.* – Л.: Машиностроение. 1977. – 165с. 3. *Марченко А.П.* Вплив корундового шару на робочих поверхнях поршней на процес згорання в ДВС / *Марченко А.П., Шпаковский В.В.* / Двигачи внутрішнього згорання. – 2011. – №2. – С. 24–28. 4. *Парсаданов И.В.* Вплив гальваноплазменної обробки поверхні поршня на механічні втрати в автотракторному дизелі / *И.В. Парсаданов, В.В. Шпаковский, И.Н. Карягин, С.Ю.Белик* // Вестник НТУ «ХПІ»: Сб. научн. трудов. Тем. вып. «Транспортное машиностроение». – 2010. – Вып. 38. – С. 88-91. 5. *Парсаданов И.В.* Оцінка впливу гальваноплазменного покриття поршня на виброси твердих частиц з обробавшими газами дизеля / *И.В. Парсаданов, А.П. Поливянчук* // Двигачи внутрішнього згорання. – 2009. – №2. – С. 97–100.