

*И.В. Парсаданов, д-р техн. наук, А.П. Поливянчук, канд. техн. наук*

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ГАЛЬВАНОПЛАЗМЕННОГО ПОКРЫТИЯ ПОРШНЯ АВТОТРАКТОРНОГО ДИЗЕЛЯ НА ВЫБРОСЫ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ С ОТРАБОТАВШИМИ ГАЗАМИ

### Введение

Наряду с известными мероприятиями по повышению экологической чистоты ДВС (совершенствование рабочих процессов, применение нейтрализаторов и альтернативных топлив и др.) продолжается поиск новых научно-технических решений. Одним из таких решений является нанесение гальваноплазменных покрытий на стенки поршня и камеры сгорания в двигателе. Как показали результаты исследований, проведенных в НТУ «ХПИ», применение данных покрытий позволяет улучшить как технико-экономические, так и экологические показатели дизелей. В работе приведены результаты исследований по установлению влияния гальваноплазменных покрытий на массовый выброс твердых частиц (ТЧ) – вещества, занимающего 2-е место (после оксидов азота) по вкладу в суммарную токсичность отработавших газов (ОГ) дизеля [1].

### Постановка задачи

Целью работы являлось сравнение массовых и среднеэксплуатационных удельных выбросов ТЧ автотракторного дизеля 4ЧН12/14, измеренных в процессе исследований поршней без покрытия и с толщиной гальваноплазменного покрытия  $\Delta_n$  – 0,12 и 0,24 мм. Покрытию подвергались: днище поршня, боковая (до верхнего компрессионного кольца) поверхность поршня и поверхность камеры сгорания (КС) в поршне.

Для достижения указанной цели решены следующие задачи:

1. Разработка методики оценки влияния гальваноплазменных покрытий на выбросы ТЧ с ОГ дизеля.
2. Измерение массовых и удельных выбросов ТЧ с тремя вариантами поршней.
3. Обработка измеренных данных и анализ полученных результатов.

### Методика оценки влияния гальваноплазменных покрытий на выбросы ТЧ с ОГ дизеля

Предложенная методика позволяет оценивать влияние гальваноплазменного покрытия на выбросы

ТЧ, содержащихся в ОГ дизелей. Методикой предусматривается:

а) измерение массовых выбросов ТЧ с ОГ дизеля –  $PT_m$  (г/ч) в процессе цикла испытаний; при этом каждый цикл состоит из 12-ти контрольных режимов 2-факторного плана  $3 \times 4$  с 3-мя уровнями варьирования частоты вращения коленчатого вала дизеля –  $n$ : 1000, 1500 и 2000  $\text{мин}^{-1}$  и 4-мя уровнями варьирования нагрузки на вал двигателя –  $L$ : 25, 50, 75 и 100% ( $L$  – % от максимального значения крутящего момента при текущем  $n$ ); для контроля массовых выбросов ТЧ использовался экспериментальный образец измерительного комплекса с микротуннелем [2], средняя погрешность измерений которого составила  $\pm 10\%$ ;

б) определение аппроксимирующих зависимостей в виде полинома 2-го порядка, описывающих влияние параметров  $n$  и  $L$  на величину  $PT_m$  (в соответствии с методикой, изложенной в работе [3]):

$$PT_{m(j)}(n, L) = A_{0(j)} + A_{1(j)} \cdot n + A_{2(j)} \cdot L + A_{11(j)} \cdot n^2 + A_{22(j)} \cdot L^2 + A_{12(j)} \cdot n \cdot L$$

где  $j$  – индекс варианта исследований, зависящего от наличия покрытия и его толщины;  $A_{0(j)}$ ,  $A_{1(j)}$ ,  $A_{2(j)}$ ,  $A_{11(j)}$ ,  $A_{22(j)}$ ,  $A_{12(j)}$  – коэффициенты аппроксимирующей зависимости для  $j$ -го варианта;

в) построение и анализ зависимостей, характеризующих влияние толщины гальваноплазменного покрытия на массовый выброс ТЧ на различных режимах работы дизеля:

$$\Delta PT_{m(j)}(n, L) = PT_{m(1)}(n, L) - PT_{m(j)}(n, L); j \neq 1;$$

$$\delta PT_{m(j)}(n, L) = \frac{\Delta PT_{m(j)}(n, L)}{PT_{m(1)}(n, L)} \cdot 100\%; j \neq 1;$$

г) вычисление удельных выбросов ТЧ –  $PT$  (г/кВт\*ч) – среднеэксплуатационных показателей, учитывающих вклад отдельных режимов работы дизеля в его суммарную токсичность; величина  $PT$  вычислялась для условий эксплуатации автомобильного дизеля (по результатам выполнения 13-ступенчатого цикла R-49-02) и тракторного дизеля (по результатам выполнения 8-ступенчатого цикла R-96):

$$PT_{(j)} = \frac{\sum_{i=1}^k PT_{m(j)i} \cdot WF_i}{\sum_{i=1}^k P_{e(j)i} \cdot WF_i},$$

где  $i$  – индекс режима испытаний;  $k$  – количество режимов, равное 13 для цикла R-49 и 8 для цикла R-96;  $PT_{m(j)i}$  и  $P_{e(j)i}$  – массовый выброс и эффективная мощность дизеля на  $i$ -м режиме;  $WF_i$  – весовой фактор  $i$ -го режима;

д) определение и анализ относительных отклонений удельных выбросов ТЧ  $PT_{(2)}$  и  $PT_{(3)}$  от значения  $PT_{(1)}$ :

$$\delta PT_{(j)} = \frac{PT_{(1)} - PT_{(j)}}{PT_{(1)}} \cdot 100\%; j \neq 1. \quad (5)$$

**Результаты исследований и их анализ**

В соответствии с изложенной методикой проведено измерение массовых выбросов ТЧ с ОГ дизеля 4ЧН12/14 при исследовании поршней без покрытия (1-й вариант), с толщиной гальваноплазменного покрытия  $\Delta_n = 0,12$  мм (2-й вариант) с  $\Delta_n = 0,24$  мм (3-й вариант) (рис. 1). По результатам исследований определены коэффициенты аппроксимирующих зависимостей (1), а также значения абсолютных и относительных среднеквадратических отклонений (СКО) расчетных и экспериментальных данных (табл. 1).

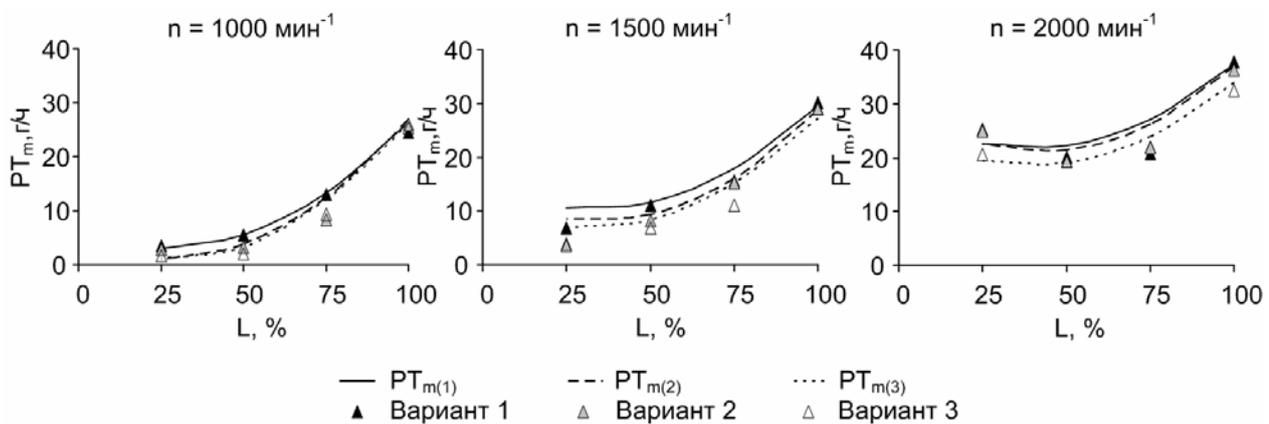


Рис 1. Экспериментальные данные и аппроксимирующие зависимости, полученные при исследовании дизеля 4ЧН12/14 с различной толщиной покрытия: вариант 1 – без покрытия; вариант 2 -  $\Delta_n = 0,12$  мм; вариант 3 -  $\Delta_n = 0,24$  мм

Таблица 1. Результаты вычислений коэффициентов аппроксимирующих зависимостей (1) и значений СКО

Вариант исследований	Коэффициенты аппроксимирующей зависимости						СКО	
	$A_0$	$A_1$	$A_2$	$A_{11}$	$A_{22}$	$A_{12}$	абс, г/ч	отн, %
1	2,033	-0,0055	-0,1056	9,27E-6	0,0042	-1,1E-4	2,02	11,3
2	4,645	-0,0136	-0,0829	1,30E-5	0,0047	-1,6E-4	2,22	12,4
3	1,088	-0,0108	-0,022	1,14E-5	0,0042	-1,6E-4	1,84	10,3

Как показали вычисления - значения относительных СКО (10,3...12,4 %) сопоставимы со средней погрешностью эксперимента, что свидетельствует об удовлетворительной точности аппроксимирующих зависимостей.

На рис. 2 приведены зависимости (2) и (3), анализ которых показывает, что в результате применения гальваноплазменных покрытий массовые выбросы ТЧ снижаются. Значения  $PT_m$  уменьшились в среднем:

- при  $n = 1000, \text{ мин}^{-1}$ : на 25 % при  $\Delta_n = 0,12$  мм и на 28 % при  $\Delta_n = 0,24$  мм.;
- при  $n = 1500 \text{ мин}^{-1}$ : на 12% при  $\Delta_n = 0,12$  мм и на 21% при  $\Delta_n = 0,24$  мм.;
- при  $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ : на 2 % при  $\Delta_n = 0,12$  мм и на 12 % при  $\Delta_n = 0,24$  мм..

С увеличением нагрузки от 25 до 100% значения относительных отклонений  $\delta PT_{m(2)}$  и  $\delta PT_{m(3)}$  уменьшаются на всех уровнях варьирования числа оборотов (за исключением диапазона  $L = 25...50\%$  при  $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ ).

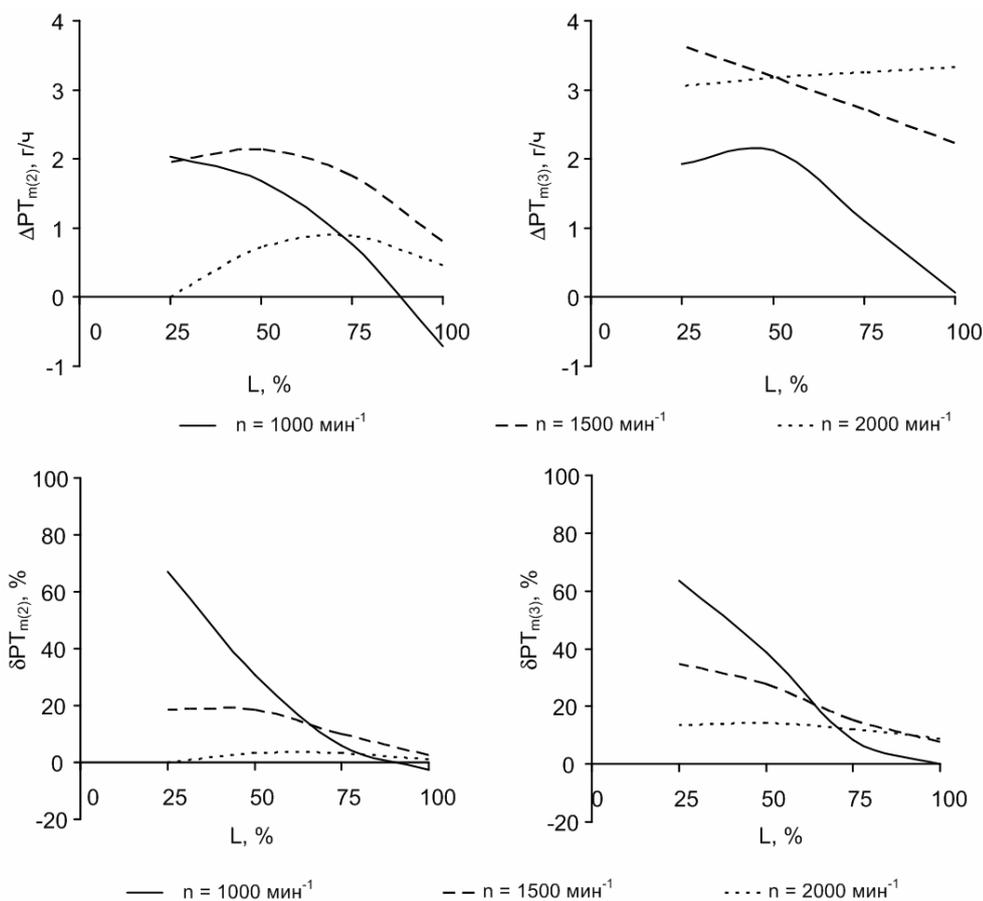


Рис. 2. Абсолютные и относительные изменения массовых выбросов ТЧ в результате использования гальваноплазменных покрытий

Результаты вычислений среднеэксплуатационных удельных выбросов ТЧ (табл. 2, рис. 3) показывают, что использование гальваноплазменных покрытий приводит к снижению показателей РТ:

- при испытаниях дизеля по автомобильному

циклу R-49 – на 7,8 % при  $\Delta_{\text{п}} = 0,2$  мм и на 16,8 % при  $\Delta_{\text{п}} = 0,4$  мм;

- при испытаниях дизеля по тракторному циклу R-96 – на 5,6 % при  $\Delta_{\text{п}} = 0,2$  мм и на 12,1 % при  $\Delta_{\text{п}} = 0,4$  мм.

Таблица 2. Результаты испытаний, используемые для вычисления удельных выбросов ТЧ, определяемых по циклам R-49 и R-96

Испытательный цикл				Параметры режима			Измеренные массовые выбросы ТЧ - РТ <sub>м</sub> , г/ч		
автомобильный R-49		тракторный R-96		n, мин <sup>-1</sup>	L, %	N <sub>е</sub> , кВт	вар-т 1	вар-т 2	вар-т 3
№ <sub>реж.</sub>	WF	№ <sub>реж.</sub>	WF						
1,7,13	0,083	8	0,15	850	-	-	4,09*	2,46*	1,16*
2	0,08	-	-	1500	10	8,50	12,37*	10,80*	8,47*
3	0,08	-	-	1500	25	21,25	6,88	3,85	3,59
4	0,08	7	0,1	1500	50	42,51	11,07	8,14	6,82
5	0,08	6	0,1	1500	75	63,78	15,61	15,26	10,97
6	0,25	5	0,1	1500	100	85,01	30,10	29,20	28,90
8	0,10	1	0,15	2000	100	100,1	37,82	40,39	26,44
9	0,02	2	0,15	2000	75	75,08	20,82	21,97	21,85
10	0,02	3	0,15	2000	50	50,05	20,06	19,28	19,43
11	0,02	-	-	2000	25	25,3	25,32	24,89	20,58
12	0,02	4	0,1	2000	10	10,01	25,30*	25,99*	22,31*

Примечание. \* Значения, полученные расчетным путем с использованием аппроксимирующих зависимостей (1).

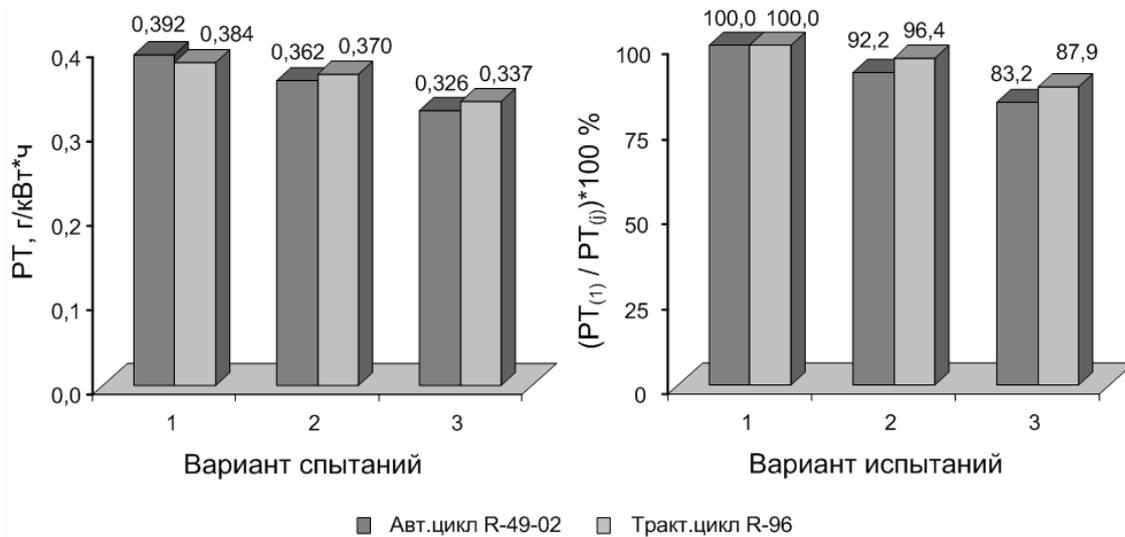


Рис. 3. Абсолютные и относительные значения удельных выбросов ТЧ дизелем 4ЧН12/14, измеренные по циклам R-49-02 и R-96

Таким образом, с увеличением толщины покрытия от 0,2 до 0,4 мм величина  $\delta PT$  возрастает в 2,1 раза.

**Выводы**

1. Применение гальваноплазменных покрытий днища поршня, поверхности КС в поршне и боковой поверхности поршня до 1-го компрессионного кольца автотракторного дизеля 4ЧН12/14 приводит к снижению массовых выбросов ТЧ с ОГ среднем на 19 % при  $\Delta_{п} = 0,12$  мм и на 30 % при  $\Delta_{п} = 0,24$  мм.

2. Применение гальваноплазменных покрытий позволяет уменьшить среднеэксплуатационные удельные выбросы ТЧ дизеля: при испытаниях его по 13-ступенчатому циклу R-49-02 – на 7,8 % при  $\Delta_{п} = 0,12$  мм и на 16,8 % при  $\Delta_{п} = 0,24$  мм; при испы-

таниях его по 8-ступенчатому циклу R-96 – на 5,6 % при  $\Delta_{п} = 0,12$  мм и на 12,1 % при  $\Delta_{п} = 0,24$  мм.

**Список литературы:**

1. Поливянчук А.П. Исследование степени токсичности вредных веществ, выбросы которых нормируются европейскими экологическими стандартами / А.П. Поливянчук, Е.Ю. Щепак, Е.Ю. Титова // Сб. научн. трудов Национального технического ун-та „ХПИ”. – 2007. - №2. – С. 112-115.
2. Звонов В.А. Оценка выбросов твердых частиц с отработавшими газами автотракторного дизеля / В.А. Звонов, А.П. Марченко, И.В. Парсаданов, А.П. Поливянчук // Двигатели внутреннего сгорания.- 2006. – № 2 – С. 64–67.
3. Рафалес-Ламарка Э.Э. Инструкция по планированию эксперимента / Э.Э. Рафалес-Ламарка. – Луганск: Укр. проектно-констр. и научно-исслед. ин-т «УкрНИИуглеобогащение», 1969. – 126 с.