

ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПЛАЗМЕННЫХ ОЧИСТИТЕЛЕЙ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

А. Н. КАРТАШЕВИЧ, д.т.н., профессор; А. А. СУШНЕВ (БГСХА);
Г. М. ВАСИЛЬЕВ, к.т.н. (АНК ИТМО НАН РБ)

В настоящее время работы по улучшению экологических показателей являются наиболее актуальными при совершенствовании конструкции двигателей внутреннего сгорания. Причем, в последнее время все большее внимание уделяется методам дополнительной очистки отработавших газов (ОГ) от вредных веществ в процессе выпуска, поскольку резервы совершенствования рабочего процесса двигателей близки к исчерпанию.

Устройства для очистки ОГ в процессе выпуска представляют собой самостоятельный функциональный элемент конструкции двигателя, устанавливаемый, как правило, в системе выпуска. Необходимым условием осуществления процесса газоочистки является реализация дополнительного энергетического воздействия на очищаемый поток ОГ, заключающегося в их физико-химической обработке. В результате происходит изменение качественных и (или) количественных характеристик ОГ в целом как многокомпонентной многофазной системы под воздействием вкладываемой в поток ОГ энергии. Обычно непосредственным объектом по реализации энергетического воздействия являются токсичные компоненты ОГ, представленные в основном твердой и газообразной фазами.

Для мобильной автотракторной техники наиболее перспективной может стать электроразрядная плазмохимическая технология газоочистки, предполагающая установку в системе выпуска двигателя плазмохимического реактора (ПХР). Являясь устройствами прямого преобразования энергии, плазмореакторы при незначительных энергозатратах позволяют осуществлять высокую степень очистки ОГ как от твердых частиц (ТЧ), обеспечивая тем самым эффективное снижение дымности, так и от газообразных токсичных компонентов [4].

Рабочий процесс ДВС неразрывно связан с процессом массово-энергетического обмена с окружающей средой (ОС), что способствует возникновению целого ряда проблем, связанных в первую очередь с загрязнением ОС и истощением природных ресурсов объектами автотранспортной техники при реализации их жизненных циклов. При этом можно выделить три экономические категории: затраты, связанные с ущербом от непосредственного воздействия загрязненных элементов ОС (воздух, вода, почва), затраты на устранение ущерба и затраты на предупреждение ущерба.

Затраты от непосредственного воздействия загрязненных элементов ОС являются следствием того, что в течение многих десятилетий

не уделялось должного внимания вопросам защиты ОС, и мы оказались перед фактом многократного превышения норм предельно допустимых концентраций вредных веществ в городах и крупных населенных пунктах, недопустимого накопления токсичных веществ в продуктах животноводства и растениеводства. Количественно оценить данную категорию затрат довольно сложно, поскольку она обусловлена не только материальными ценностями, но и здоровьем людей и состоянием живой природы в целом. К сожалению, можно констатировать факт, что ущерб от непосредственного воздействия загрязненных элементов ОС продолжает ежегодно увеличиваться.

Затраты на устранение ущерба связаны с применением комплекса мер по восстановлению загрязненных элементов экосистемы, если загрязнение не привело еще к необратимым последствиям.

Затраты на предупреждение ущерба непосредственно связаны с разработкой и практическим применением методов и средств, препятствующих попаданию в ОС токсичных компонентов ОГ. Сюда в первую очередь следует отнести и затраты на разработку систем снижения дымности для дизельных двигателей. Очевидно, что любое мероприятие по снижению дымности ОГ предполагает усложне-

ние конструкции двигателя, дополнительный расход конструкционных материалов, энергии на процесс газоочистки, расходы, связанные с обслуживанием системы в процессе эксплуатации, и другие. В комплексе все это способствует увеличению стоимости автотракторной техники и, следовательно, делает затраты данной категории неизбежными. Экономическая эффективность может иметь место в том случае, если существующие методы газоочистки и средства их реализации будут заменены новыми с более низкой себестоимостью. При этом следует отметить, что система газоочистки должна удовлетворять соответствующим требованиям государств Евросоюза, представленным в табл. 1.

сти сравнение экономической эффективности применения плазмохимических систем газоочистки и механических фильтров-уловителей ТЧ. При этом в качестве базовой плазмохимической системы при проведении расчетов по экономической эффективности была принята действующая конструкция полнопоточного плазмохимического реактора, разработанная для очистки отработавших газов дизельных двигателей рабочим объемом до 5 дм³ (дизель Д-243 и его модификации).

Материальные затраты при применении систем снижения дымности ОГ в первую очередь связаны с изготовлением, монтажом, обслуживанием системы в процессе эксплуатации. Кроме того, сюда следует отнести допол-

на процесс очистки ОГ от ТЧ двух рассматриваемых систем. Величину потерь мощности на преодоление противодействия системы выпуска можно определить по зависимости:

$$W_{c.v.} = G_{огн}^v \cdot P_{п.} \quad (1)$$

где $G_{огн}^v$ – номинальный расход ОГ, м³/с;

$P_{п.}$ – противодействие системы выпуска, Па.

Величина энергозатрат на процесс газоочистки для механических фильтров определяется их газодинамическим сопротивлением, которое в конечном счете обуславливает потерю мощности двигателя и дополнительный расход топлива не для нужд основного технологического процесса, выполняемого автотракторным агрегатом.

Дополнительный расход топлива можно определить по зависимости:

$$G_T = \frac{g_{ен} \cdot W \cdot H_T}{1000 \cdot \rho_{дт}} \quad (2)$$

где G_T – дополнительный годовой расход топлива, л/год;

$g_{ен}$ – номинальный удельный расход топлива, г/кВт·ч;

W – дополнительные затраты мощности;

H_T – годовая выработка трактора либо годовой пробег автомобиля, мото·ч или км соответственно;

$\rho_{дт}$ – плотность дизельного топлива, кг/л.

В формулу по определению величины дополнительных топливных затрат для фильтров-уловителей ТЧ вместо W следует подставлять величину потерь мощности на преодоление противодействия системы выпуска $W_{c.ф.} = W_{c.v.(c.ф.)}$, а для ПХР – величину, определяемую по зависимости:

$$W_{ПХР} = W_{c.v.(ПХР)} + W_{э.п.} \quad (3)$$

где $W_{э.п.}$ – мощность электрических потерь на процесс газоочистки, кВт·ч.

Мощность электрических потерь на процесс газоочистки определяется по зависимости:

$$W_{э.п.} = \frac{P_{к.р.}}{\eta_{огн} \cdot \eta_T} \quad (4)$$

1. Технические требования к системам очистки ОГ дизельных двигателей от твердых частиц

Степень очистки ОГ.	Система газоочистки		
	Новая	> 2000 час.	
Весь спектр выделяемых частиц (метод контроля – гравиметрический: ISO 8178 C1, 4-х точечный тест)	> 80%	> 75%	
Элементарная сажа – ЕС (метод контроля – кулонометрический, массовый)	> 90%	> 85%	
Эмиссия частиц из системы газоочистки в режиме свободного ускорения (по показателю оптической плотности)	< 10%	< 10%	
Газодинамическое сопротивление на режиме номинальной мощности двигателя, мБар (1 Бар = 10 ⁵ Па)			
новая система газоочистки	< 50		
предел до регенерации системы	< 150		
максимально допустимое значение	< 200		
Объем системы газоочистки, л/кВт	< 0.6		
Уровень снижения шума (при использовании без глушителя)	> 25 дБА		
Продолжительность эксплуатации	Мобильная техника	Стационарные машины	
	срок службы, мото·час.	> 5000	> 20000
	периодичность технического обслуживания, мото·час.	> 2000	> 2000
	интервал эксплуатации, мото·час.	> 500	> 1000
Регенерация:	Предпочтительна автоматическая либо без демонтажа системы		

Методика оценки экономической эффективности.

Как показывает анализ имеющихся данных [1], в настоящее время в мировой практике в качестве наиболее действенной системы очистки отработавших газов от ТЧ используются механические фильтры различных конструкций. В этой связи целесообразно прове-

нительные энергозатраты, необходимые для процесса газоочистки и регенерации системы.

Затраты на изготовление определяют конечную цену готового изделия, поэтому последняя также может использоваться в качестве оценки экономической эффективности.

Оценим величину энергозатрат

где $P_{кр}$ – мощность коронного разряда, кВт;

$\eta_{ПХР}$ и η_r – КПД источника питания ПХР и автотракторного генератора.

Годовой экономический эффект по эксплуатации ПХР по сравнению с механическими фильтрами:

$$\Delta_{\text{э}} = (G_{сф} - G_{ПХР}) \Pi_{дт} + \Sigma Z_{сф} - \Sigma Z_{ПХР} + C_{сф} - C_{ПХР} \quad (5)$$

где $\Pi_{дт}$ – комплексная цена дизельного топлива, у.е./л;

$\Sigma Z_{сф}$ и $\Sigma Z_{ПХР}$ – общая сумма затрат на фильтр-уловитель ТЧ и ПХР соответственно, у.е.

Общая сумма затрат на фильтр-уловитель ТЧ и ПХР определяется по зависимости:

$$\Sigma Z_{сф} = M_{сф} + TO_{сф} - P_{сф} \quad (6)$$

$$\Sigma Z_{ПХР} = M_{ПХР} + TO_{ПХР} + P_{ПХР} \quad (7)$$

где $M_{сф}$ и $M_{ПХР}$ – затраты на монтаж систем, у.е.;

$TO_{сф}$ и $TO_{ПХР}$ – затраты на техническое обслуживание систем, у.е.;

$P_{сф}$ и $P_{ПХР}$ – затраты на регенерацию систем, у.е.

Результаты расчетов экономической эффективности.

По данным источника [1], средняя стоимость механического фильтр-уловителя ТЧ с системой регенерации, рассчитанного на очистку ОГ дизеля мощностью 50...70 кВт, на мировом рынке составляет около $C_{сф} = 1500$ у.е.

Ориентировочно оценим величину затрат на производство ПХР, разработанного для двигателя Д-243 [2, 3, 4]:

- разрядная камера – 50 у.е.;
- электродная система – 100 у.е.;
- высоковольтные изоляторы – 50 у.е.;
- источник питания – 100 у.е.;
- высоковольтные кабели, соединительные газопроводы – 20 у.е.;
- стоимость конструкционных материалов – 100 у.е.;
- всего – 420 у.е.

Таким образом, ориентировочно можно принять, что стоимость ПХР составит $C_{ПХР} = 500$ у.е.

Необходимые данные для сопоставления экономической эффективно-

2. Техничко-экономические показатели и результаты расчета экономической эффективности применения систем снижения дымности

Показатель	Обозначение	Значение	
		МФУ	ПХР
Балансовая стоимость, у.е.	C	1500	500
Газодинамическое сопротивление, кПа	P_n	15	0.65
Потери мощности на преодоление противодействия системы выпуска, кВт	$W_{сф}$	3.04	0.13
Затраты электрической энергии на процесс газоочистки, кВт	$W_{эл}$	-	0.35
Годовая паработка, мото-ч	H_r	1000	1000
Комплексная цена одного литра топлива, у.е.	$\Pi_{дт}$	0.35	0.35
Номинальный расход ОГ, м ³ /с	$G_{огн}^v$	0.203	0.203
КПД источника питания	$\eta_{сф}$	-	0.95
КПД генератора	η_r	-	0.98
Номинальный удельный расход топлива, г/кВт-ч	$g_{ев}$	220	220
Плотность дизельного топлива, кг/л	$\rho_{дт}$	0.83	0.83
Дополнительный годовой расход топлива, л	G_1	805.78	127.23
Годовой экономический эффект, у.е.	$\Delta_{\text{э}}$	1237.49	

сти использования механических фильтр-уловителей ТЧ (МФУ) и ПХР представлены в табл. 2.

Будем считать, что затраты, связанные с монтажом системы и ее техническим обслуживанием в процессе эксплуатации, приблизительно равны для механических фильтров и ПХР: $M_{сф} = M_{ПХР}$; $TO_{сф} = TO_{ПХР}$. Кроме того, можно принять и равенство затрат по регенерации накопленной сажи в силу того, что устройства устанавливаются на однотипные двигатели и имеют равную степень очистки: $P_{сф} = P_{ПХР}$.

Известно, что максимально допустимая величина газодинамического сопротивления механических фильтров составляет 20 кПа, а допустимое значение до регенерации $P_{н(сф)} = 15$ кПа [1]. Для ПХР значение данного параметра на номинальном режиме работы двигателя, согласно данным проведенных экспериментальных исследований, составляет $P_{н(ПХР)} = 655$ Па [3].

Таким образом можно заключить, что использование разработанного полипоточного ПХР в составе с дизелем Д-243 вместо предлагаемых в настоящее время механических фильтр-уловителей твердых частиц позволяет уменьшить общее противодействие системы выпуска двигателя более чем на 14 кПа, снизить мощность процесса газоочистки на 2.9 кВт, что при эксплуатации одной единицы авто-

тракторной техники с данным двигателем и плазмореактором обеспечит снижение годового расхода дизельного топлива на нетехнологические нужды в пределах 680 л и в комплексе позволит получить годовой экономический эффект до 1200 у.е.

Литература

1. <http://www.DieselNet.com>
2. Kartaszewicz A.N., Wasiljew G.M., Wasieckij V.A., Suszniew A.A. Plazmochemiczna metoda oczyszczania z sadzy spalin silnikow wysokoprkinych // Przegląd techniki rolniczej i leśnej. Warszawa. №2, 2001 г. -р.11-13.
3. Васильев Г.М., Васильева Э.М., Васецкий В.А., Карташевич А.И., Сушнев А.А. Разработка и исследование электроразрядных плазмохимических систем для снижения дымности и токсичности отработавших газов дизельных двигателей рабочим объемом до 12 дм³. // 7 International symposium: Ecological aspects of mechanization of plant production. / Warszawa, 2001 г. р. 284-290.
4. Сушнев А.А. Экспериментальные исследования электроразрядных систем для снижения дымности отработавших газов дизельных двигателей // Актуальные проблемы механизации сельскохозяйственного производства: Материалы междунар. научн.-практ. конф. Часть 2. / БГСА. – Горки, 2001. –С. 245-249.