

Г. И. Павлов, А. В. Кочергин, М. А. Никитин,
С. Ю. Гармонов, О. Р. Ситников, К. А. Кочергина,
А. И. Ахметшина, Р. Р. Сахапова

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОЗОНА ДЛЯ ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ ВЫБРОСОВ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Ключевые слова: озон, автомобильные двигатели, обезвреживание выбросов.

Предлагается способ снижения вредных веществ в отработавших газах методом озонирования при непосредственной подаче озона в систему выпуска отработавших газов двигателя внутреннего сгорания. Проведен оценочный расчет производительности озонатора и концентратора кислорода, необходимого для снижения концентрации вредных веществ до установленных норм.

Keywords: ozone, automotive engines, disposal emissions.

We propose a method of reducing harmful substances in the exhaust gases by ozone treatment under directly-state filling of ozone in the exhaust system of the internal combustion engine. Held estimating the performance of the ozonizer and the concentrator of oxygen needed to reduce the concentration of harmful substances to the established norms.

Озон широко применяется в различных областях народного хозяйства: обеззараживании питьевой воды, медицине, очистке отходящих газов, химической и нефтяной промышленности, металлургии черных и цветных металлов, промышленности органической и неорганической химии, решении экологических проблем. Озон – сильный окислитель, который вступает в реакции даже в малых дозах при нормальных условиях [1].

Основным качеством, определяющим специфику физических и химических свойств озона, является избыточная энергия его молекулы (100560 Дж/моль) при нормальных условиях, благодаря этому химические свойства озона характеризуются двумя основными чертами: нестабильностью и сильным окислительным действием. При небольших концентрациях и отсутствии каталитических примесей озон разрушается довольно медленно. При повышении температуры до 100-150⁰С скорость разложения озона значительно возрастает, а начиная с 250⁰С он распадается полностью [2].

Озон реагирует с большой скоростью при высоких температурах с азотом и его оксидами, а также олефинами и оксидами углерода. Скорость реакции «углеводород-озон», как правило, лимитируется скоростью подвода реагентов. Большая часть исследований заканчивается констатацией факта, что реакция протекает с достаточной скоростью, а ее энергия активации мала [3]. В случае реакций, протекающих при высоких температурах, например, с образованием высокотемпературных отработавших газов, следует ожидать резкого возрастания скоростей реакции озона с отработавшими газами. Например, превращения могут протекать за 1 секунду и даже до тысячных долей секунды, т.к. взаимодействие идет между атомарными частицами и радикалами [4,5].

Озон реагирует с веществами, образующимися в результате горения газовых факелов нефтяных скважин, химических заводов, выхлопными газами автомобилей, отходящими газами химических производств и т.д., что подтверждает широкий спектр потенциальной применимости озона для обезвреживания различных вредных выбросов.

Одним из перспективных направлений для обезвреживания выбросов вредных веществ является применение газообразного озона, вырабатываемого озонаторами, при пропускании окружающего воздуха или чистого кислорода через переменное высоковольтное (10 кВ) электрическое поле [6].

Известно добавление озона и воды в воздух, подаваемый в камеру сгорания ДВС в смеси с горючим [7]. Озонатор устанавливается в воздушном тракте и работает от питания автомобиля. При этом уменьшаются выбросы вредных веществ на 10 - 20% и увеличивается мощность двигателя до 15%. Автомобильные озонаторы выпускают и для большегрузных автомобилей «MAN» и «IVEKO» (модель - вихревой озонатор Крона-3). Вихревой озонатор Корона-3 обеспечивает вихревое перемешивание озонированного воздуха тангенциальным вводом воды через дозирующие форсунки. Коронный разряд создается высоковольтным полем переменного тока с частотой порядка 25 тыс. Гц (напряжение – 40кВ) между двумя электродами и контролируется специальным электронным блоком.

Известны работы по нейтрализации выхлопных газов с применением для выработки озона ртутно-кварцевых газоразрядных ламп, подключенных к пускорегулирующей и питающей аппаратуре автомобиля [8].

Вначале проведена работа по нейтрализации непредельного углеводорода – акролеина (ПДК = 0.2 мг/м³). На первом этапе проведены испытания озонатора производительностью 8 г/час. Озонатор был вмонтирован в систему вентиляции цеха, представляющую собой трубу диаметром 0,56 м. По ходу движения газов в вытяжную систему вентиляции подключалась еще одна труба, в результате чего объемный расход газа в системе возрастал на постоянную величину. Эксперименты проводились в течение 8 дней, при этом работа озонатора была непрерывной. Концентрация акролеина изменялась от 0,01 мг/м³ до 3 мг/м³ в зависимости от чистоты сырья. Объем газовоздушных выбросов изменялся от 2000 м³/час до 26000 м³/час. При этих параметрах была достигнута эффективность нейтрализации до

30-40% (максимальный расход озона и акролеина составил 2,22 мг/с). В этих условиях соотношение озона и акролеина составляет 1:1,004. По данным авторов [1,3] стехиометрия компонентов олефин: озон должна быть 1:1,4 и 1:2. На втором этапе испытаний использован озонатор производительностью

16 г/час. Тогда соотношение озон: олефин составило 1,73:1. Условия испытаний менялись в тех же пределах, что и в первом случае. Была достигнута эффективность озонирования 80 – 100%. Результаты испытаний представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Эффективность очистки акролеина при различных условиях испытаний

Объемный расход газовой смеси, м³/час	Температура, °С	Начальная концентрация		Конечная концентрация		Выброс, мг/с		Эффективность, %
		акролеин, мг/м³	озон, мг/м³	акролеин, мг/м³	озон, мг/м³	до	после	
2735	26	0,411	5,48	0,036	отс.	0,3	0	95
5771	21	0,37	2,6	0,06	отс.	0,3	0,1	80
11458	30	0,34	1,3	0,06	отс.	0,3	0,1	89
5573	23	0,46	2,6	0,05	отс.	1	0,2	86
5460	40	0,09	2,6	0,0017	отс.	5	0,1	83
4639	42	0,3	1,5	-	отс.	0,3	0	100

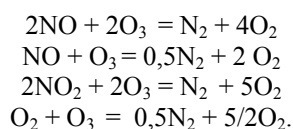
В связи с тем, что в последнее время идет процесс активного внедрения двигателей внутреннего сгорания на природном компримированном газе – метане, как на городских автобусах, так и грузовых автомобилях типа КамАЗ, рассмотрение нейтрализации выхлопных газов методом озонирования является актуальным.

Для конкретного двигателя КамАЗ 820.62-300, работающего на метане, по имеющимся данным по выбросу вредных веществ можно рассчитать производительность озонатора (табл. 2).

Таблица 2 - Результаты измерения концентрации вредных веществ в выхлопных газах

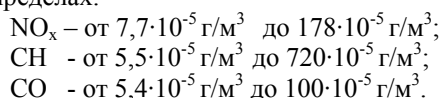
Частота вращения, мин⁻¹	Содержание до нейтрализатора, ppm			Выброс, кг/ч	α	T, °С
	NO _x	Углеводороды	CO			
800	77	7200	540	76	1,0	369
1350	1550	671	603	690	1,4	468
1700	1720	550	696	508	1,0	521
1700	1770	473	609	694	1,0	551
1350	1414	723	543	386	1,0	480
1350	1780	560	872	533	1,0	501
1350	820	765	744	249	1,0	464
1700	1410	330	732	893	1,4	501
1700	1210	743	1000	326	1,0	503
2060	1300	480	705	1005	1,4	533
2060	1280	673	709	404	1,0	534
2060	1700	370	740	793	1,0	580
2060	1585	479	702	591	1,0	563

При этом происходят предполагаемые реакции:



Можно полагать, что при хорошем перемешивании и высоких температурах эти реакции с озоном будут протекать при соотношении 1:1.

Используя данные таблицы 2, при работе ДВС на метане в состав отработавших газов входят NO_x, CH и CO, содержание которых находится в следующих пределах:



Проведен расчет производительности озонатора на необходимое количество воздуха для получения озона и необходимое количество кислорода, для получения озона с применением прибора концентратора кислорода. Для получения озона часто применяют концентраторы кислорода. Это приборы, которые физически отделяют кислород от азота, пропуская воздух через цеолитные наполнители колонок прибора. Цеолит выполняет роль молекулярного фильтра, задерживающего молекулярный азот и направляющего его во вторую колонку, а оттуда в атмосферу. Для практических работ предлагается использовать концентратор кислорода Atmung 5a-F. Для выработки необходимого количества озона (16 г/ч) достаточно эксплуатировать выбранный концентратор кислорода на минимальном режиме.

Метод озонирования эффективен для снижения содержания вредных веществ в отработавших газах, при непосредственной подаче озона в отдельный реактор после ДВС. Предлагается модернизировать способ снижения вредных веществ в отработавших газах методом озонирования, суть которого заключается в непосредственной подаче озона в систему выпуска отработавших газов двигателя внутреннего сгорания. Проведен оценочный расчет производительности озонатора и концентратора кислорода, необходимого для снижения концентрации вредных веществ до установленных норм. Рассчитано, что для обезвреживания вредных веществ в отработавших газах необходимо ввести 16 г/ч озона. Для получения такого количества озона в систему выпуска необходимо ввести 15 м³/ч воздуха или 0,25 м³/ч кислорода (через концентратор кислорода).

Литература

- [1] *Лунин В.В.* Физическая химия озона / В.В. Лунин, М.П. Попович, С.Н. Ткаченко. М.: МГУ, 1998. – 480 с.
- [2] *Белов С.В.* Безопасность производственных процессов / Справочник / С.В. Белов, В.Н. Бринза, Б.С. Векшин – М.:Машиностроение, 1985. – 448с.
- [3] *Разумовский С.Д.* Озон и его реакции с органическими соединениями (кинетика и механизм). / С.Д. Разумовский, Г.Е. Заиков - М.: Наука, 1974. – 322 с.
- [4] *Павлов Г.И.* Установка для обезвреживания твердых и жидких горючих отходов / Г.И. Павлов, А.В. Кочергин, О.Р. Ситников, К.А. Кочергина, С.Ю. Гармонов // Вестник Казанского технологического университета. 2011. №19. С.168-174.
- [5] *Павлов Г.И.* Установка для обезвреживания отработанных смазочно-охлаждающих жидкостей / Г.И. Павлов, А.В. Кочергин, О.Р. Ситников, А.И. Галимова, К.А. Кочергина, С.Ю. Гармонов // Вестник Казанского технологического университета. 2011. №19. С.189-193.
- [6] *Филиппов Ю.В.* Электросинтез озона. / Ю.В. Филиппов, В.А. Вобликова, В.И. Пантелеев - М.: Изд-во Моск. ун-та, 2008. — 237 с.
- [7] Патент РФ № 2168053. Способ и устройство для уменьшения вредных компонентов и загрязняющих примесей в выхлопных газах двигателя.
- [8] Патент РФ № 2131526. Устройство нейтрализации токсичных выхлопных газов тепловых двигателей.

© **Г. И. Павлов** – д-р техн. наук, проф., зав. каф. спецтехнологий в образовании КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, pavlov16@mail.ru; **А. В. Кочергин** – д-р техн. наук, проф., дир. КУИМЦ КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева; **М. А. Никитин** – канд. техн. наук, зав. лаб. каф. спецтехнологий в образовании КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева; **С. Ю. Гармонов** – д-р хим. наук, проф. каф. инженерной экологии КНИТУ; **О. Р. Ситников** – канд. техн. наук, зав. лаб. каф. спецтехнологий в образовании КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева; **К. А. Кочергина** – канд. техн. наук, зав. лаб. каф. спецтехнологий в образовании КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева; **А. И. Ахметшина** асп. той же кафедры; **Р. Р. Сахапова** – студ. той же кафедры.