Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. XXXVIII, вып. 1, 1959 г.

ОЧИСТКА ВЫХЛОПНЫХ ГАЗОВ ДИЗЕЛЬНЫХ АВТОМАШИН

Н. З. Битколов

Основным вредным составляющим выхлопных газов является акролеин ($CH_2 = CH - CHO$) — бесцветная жидкость, с характерным резким запахом пригорелых жиров [3]. Находясь в выхлопных газах в виде паров, акролеин сильно раздражает слизистые оболочки носа, рта и глаз. Допустимая концентрация его 0,002 *мг/л* (0,00008% по объему) [1]. Содержание акролеина в выхлопных газах зависит от условий работы двигателя, его механического состояния и составляет, по нашим замерам, от 0,00330 до 0,0312%.

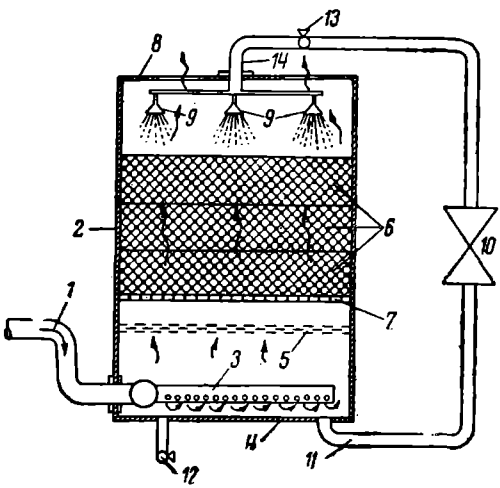


Рис. 1. Экспериментальный очиститель:
1 — выхлопная труба; *2* — корпус; *3* — коллектор; *4* — дно очистителя; *5* — успокоитель; *6* — спрессованная металлическая стружка; *7* — опорная плита; *8* — крышка очистителя; *9* — разбрызгиватели; *10* — насос; *11* — патрубок; *12, 13* — вентили; *14* — трубка

Проведенные испытания имели целью максимально сократить содержание акролеина в выхлопных газах. В качестве источника образования выхлопных газов был использован двигатель ЯАЗ-204 мощностью 100 *л. с.*, установленный на автосамосвале МАЗ-205. Испытания проводились на территории Блявинского рудника в сентябре-октябре 1957 г.

Для очистки выхлопных газов был сконструирован очиститель, работающий по принципу непосредственного контактирования газов с химическими растворами. Размеры очистителя $400 \times 500 \times 500$ *мм*. В очиститель (рис. 1) выхлопные газы поступают из двигателя по трубе *1*, переходящей внутри корпуса очистителя *2* в коллектор *3*, состоящий из четырех трубок с отверстиями. Отверстия расположены правильными рядами на одной половине трубок, обращенной ко дну очистителя *4*. В рабочем положении трубки коллектора погружены в воду примерно на 100—150 *мм*. Непосредственно над коллектором расположен успокоитель *5*, состоящий из набора 2—3 пластин с отверстиями. Пластины успокоителя соединены между собой (с зазором 10—15 *мм*), отверстия

на двух смежных пластинах не совпадают при вертикальном просмотре. Успокоитель должен выравнивать газовый поток.

После выхода из трубок коллектора выхлопные газы проходят через находящийся в очистителе раствор, затем следуют через успокоитель и расположенную выше него спрессованную металлическую стружку *6* толщиной 200—250 *мм*, уложенную на специальную опорную плиту *7*. Пройдя стружку, очищенные выхлопные газы выходят в атмосферу через отверстия в крышке очистителя *8*.

Для поддержания стружки во влажном состоянии, с целью обеспечения лучшей очистки проходящих газов, в верхней части очистителя установлены четыре разбрызгивателя *9*, орошающие стружку сверху. От насоса *10*, вынесенного за пределы очистителя, раствор подается к разбрызгивателям по трубке *11*. Насос работает по замкнутому циклу,

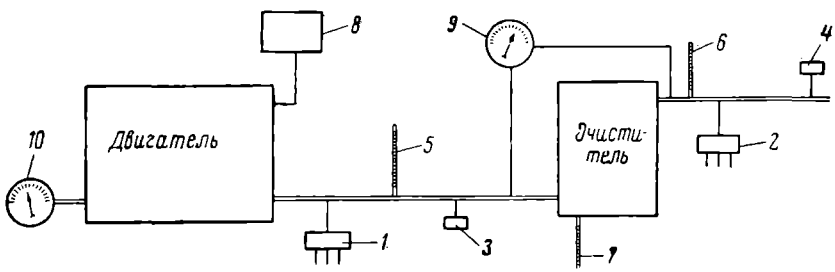


Рис. 2. Схема расположения контрольно-измерительной аппаратуры в период испытаний

1, 2 — приборы для отбора проб выхлопных газов до (*1*) и после (*2*) очистки; *3, 4* — пункты замера скорости движения газов; *5, 6, 7* — термометры для измерения температуры выхлопных газов до (*5*) и после (*6*) очистки и температуры раствора в очистителе (*7*); *8* — измеритель расхода горючего; *9* — манометр; *10* — счетчик оборотов

забирая раствор из донной части очистителя через трубку *11*. Регулирование подачи раствора к разбрызгивателям и слив его из очистителя производятся при помощи вентилей *12* и *13*. Двигатель с очистителем соединен металлической трубой с резиновым переходником. Схема расположения контрольно-измерительной аппаратуры показана на рис. 2.

Технические данные испытания очистителя, приведенные в табл. 1, свидетельствуют о следующем.

Таблица 1

Технические данные испытания очистителя

Номер испытания	Количество очищаемого газа			Компрессия очистителя, *мм вод. ст.*	Потребляемая мощность, *кгм/сек*	Скорость вращения двигателя, *об/мин*	Расход топлива, *кг/час*	Общий расход раствора, *кг*
	м³/сек	*м³/час*	всего за время испытания, *м³*					
1	0,0515	185,0	690,0	112	5,76	500—550	1,11	17
2	0,0580	210,0	840,0	245	14,20	1000	3,09	44
3	0,0610	219,0	876,0	242	14,70	1000	3,02	50
4	0,0950	342,0	1368,0	290	27,60	1150	3,90	43
5	0,0920	330,0	1320,0	293	26,90	1150	3,68	45
6	0,0900	324,0	1296,0	310	27,90	1000	3,25	37
7	0,1160	418,0	1672,0	350	40,70	1100	3,80	40
8	0,0860	310,0	1240,0	340	29,20	1000	3,16	33
9	0,0930	336,0	1344,0	290	27,00	1050	3,68	36

Примечание. Продолжительность испытаний 4 часа.

1. Сопротивление очистителя проходу газов не является величиной постоянной и за период испытаний изменялось от 26 000 до 73 000 *кμ*, в зависимости от уровня воды в очистителе. Поэтому во избежание дополнительных потерь мощности двигателя уровень раствора в очистителе целесообразно нормировать. Практически уровень раствора должен быть не свыше 150—200 *мм*.

2. Расход очистительного раствора в период испытаний составил 33—50 *кг*, т. е. 8,2—12,5 *кг/час*. Если исходить из того, что очиститель работает 8 час., общий расход раствора составит 70—100 *кг* для двигателя мощностью 100 *л. с.* Такие расходы потребуют увеличения объема очистителя при условии, что уровень раствора в нем не будет превышать 150—200 *мм*. Однако вследствие ограниченности места расположения очистителя увеличение объема возможно до определенных пределов. Целесообразно предусмотреть размещение раствора не только непосредственно в очистителе, но и в специальном запасном бачке, расположенном отдельно и связанном с очистителем трубопроводом. С целью ограничения высоты раствора в очистителе необходимо предусмотреть автоматическое выключение насоса при повышении уровня выше нормального.

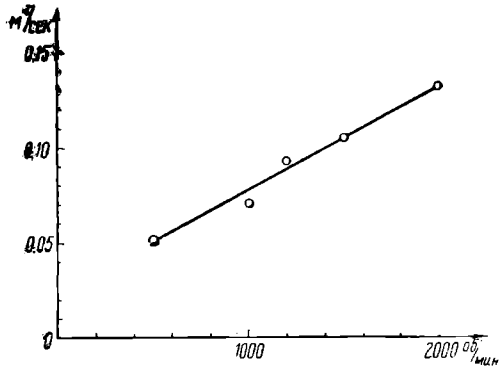


Рис. 3. Зависимость количества воздуха, подаваемого воздушным нагнетателем, от изменения числа оборотов двигателя

3. Количество воздуха, подаваемое воздушным нагнетателем, установленным на автосамосвале, характеризуется рис. 3. С увеличением числа оборотов от 500 до 1000 отношение воздух — топливо $\frac{B}{T}$ сокращается примерно вдвое (от 209 до 101) По количеству выхлопных газов, выделяющихся при работе двух- и четырехтактных дизельных двигателей, первые дают гораздо большие объемы газов вследствие большого расхода воздуха на продувку цилиндров и, следовательно, требуют гораздо более мощных очистительных средств. В четырехтактных двигателях отношение $\frac{B}{T}$ поддерживается относительно постоянным и в среднем составляет 30.

4. Очищенные выхлопные газы при проходе через очиститель максимально насыщаются водой, которую они уносят с собой в атмосферу. Для уменьшения количества уносимой влаги целесообразно предусмотреть установку центробежного сепаратора.

5. Температура во время испытаний была следующая (град.)

Температура выхлопных газов:									
до очистки	77	121	121	144	139	124	139	129	128
после очистки	32,0	38,5	39,0	42,5	40,0	39,5	38,5	38,0	38,5
Температура воды	32,0	38,5	39,0	42,5	40,0	39,5	38,5	38,0	38,5
Наружная температура	26,0	20,0	23,0	10,5	8,0	8,5	8,0	7,0	8,5

Как видно из приведенных данных, температура выхлопных газов после очистки составляла в среднем 40°, с увеличением нагрузки на двигатель до максимальной она возрастала до 50—55°.

Температура газов определяет их влагосодержание, следовательно, чем ниже температура газов после очистки (а она зависит от температуры перед очистителем), тем меньше расход раствора. Поэтому целесообразно предусмотреть предварительное охлаждение выхлопных газов путем установки дополнительных разбрызгивателей в выхлопной трубе.

6. Незначительные потери мощности двигателя в очистителе позволяют не предусматривать устройства, отключающего его при работе на максимальных нагрузках.

Результаты анализов выхлопных газов приведены в табл. 2 *

Таблица 2

Результаты анализов газов

Номер испытания	Концентрация газов до очистки		Раствор	Концентрация газов после очистки		Процент очищаемых газов	
	N_2O_5, % по объему	альдегиды, *мг/л*		N_2O_5, % по объему	альдегиды, *мг/л*	N_2O_5,	альдегиды
1	0,00446	0,03715	H_2O	0,00323	0,00343	27,8	90,75
2	0,00682	0,02830	H_2O	0,00383	0,00632	43,7	77,70
3	0,00269	0,09220	H_2O	0,00217	0,00000	19,3	100,00
4	0,00442	0,04223	10% Na_2SO_3	0,00281	0,00000	36,4	100,00
5	0,00410	0,01890	10% Na_2SO_3	0,00230	0,00000	43,8	100,00
6	0,00531	0,04970	10% Na_2SO_3 и 0,5% $C_6H_6O_2$	0,00394	0,00000	26,0	100,00
7	0,00390	0,01470	5% Na_2SO_3	0,00342	0,00100	12,3	92,72
8	0,00577	0,06180	5% Na_2SO_3 и 0,5% $C_6H_6O_2$	0,00484	0,00747	16,2	87,90
9	0,00276	0,01960	10% Na_2SO_3	0,00226	0,00030	18,2	98,47

Примечание. Содержание альдегидов в табл. 2—4 выражено в акролеине.

Параллельно с набором проб воздуха и проведением анализов производилась оценка наличия альдегидов в очищенных выхлопных газах по запаху. При всех испытаниях отмечалось отсутствие сильных раздражающих действий очищенных газов на слизистую оболочку носа и глаз.

Наиболее типичные данные изменения поглотительной способности растворов во времени показаны в табл. 3. Характеристика растворов в очистителе и ее изменение с течением времени приведены в табл. 4.

Результаты анализов (табл. 2, 3, 4) свидетельствуют о следующем.

1. Если в качестве очистителя используется вода, количество поглощаемых альдегидов с течением времени уменьшается, составляя в начале испытания 100%, а через 4 часа — 50,6%. Объясняется это, по-видимому, насыщением воды альдегидами и снижением поглотительной способности воды при повышении температуры.

2. Очистка выхлопных газов водой не дает желаемого результата. Несмотря на удовлетворительный эффект поглощения, альдегиды лишь механически растворяются в воде. Значительный расход воды при очистке (см. табл. 1) приводит к обратному переходу альдегидов из раствора в парообразное состояние.

Мнение о том, что поглотительная способность воды по отношению к альдегидам мала [3], недостаточно обоснованно, так как, по данным П. П. Коржева [2], 100 *г* воды растворяют 40 *г* акролеина. Хорошая растворимость альдегидов в воде подтверждается и нашими анализами (см. табл. 3).

* В производстве анализов принимали участие Л. М. Федяева и Е. К. Жигарева.

Таблица

Изменение поглотительной способности растворов

Номер испытания	Раствор	Поглощаемый газ	Процент поглощенных газов через			
				2 час.	3 час.	4 час.
2	H_2O	N_2O_5	43,6	54,0	Не определялось	33,6
		Альдегиды	100,0	82,5	То же	50,6
4	10% Na_2SO_3	N_2O_5	44,8	40,3	32,9	27,6
		Альдегиды	100,0	100,0	100,0	100,0
9	10% Na_2CO_3	N_2O_5	27,6	16,8	Не определялось	10,2
		Альдегиды	100,0	100,0	То же	95,4

Таблица

Характеристика растворов в очистителе

Время отбора пробы воды через	H_2O		10% Na_2SO_3		10% Na_2SO_3 и 0,5% $C_6H_8O_2$		5% Na_2SO_3		5% Na_2SO_3 и 0,5% $C_6H_8O_2$		10% Na_2CO_3	
	альдегиды, *мг/л*	реакция	альдегиды, *мг/л*	реакция	альдегиды, *мг/л*	реакция	альдегиды, *мг/л*	реакция	альдегиды, *мг/л*	реакция	альдегиды, *мг/л*	реакция
1 час	5,0	Нейтральная*	Нет	Щелочная	Нет	Щелочная	Нет	Щелочная	Нет	Щелочная	Не колориметрируется**	Щелочная
2 часа	6,4	То же		То же		То же		То же		То же		То же
3	—						3,7	Нейтральная*	1,9	Нейтральная*		
4	10,0		5,0	Нейтральная*			12,2	То же	8,4	То же		

* Реакция нейтральная по отношению к сильным кислотам.

** Сильная щелочь Na_2CO_3 оказывает коррозирующее действие на материал очистителя, вследствие чего в растворе присутствуют окислы железа, мешающие колориметрированию альдегидов.

3. Раствор 10% Na_2CO_3 обеспечивает почти полную очистку выхлопных газов от акролеина (в среднем 98,47%), однако вследствие сильного коррозирующего действия раствора на материал очистителя от раствора Na_2CO_3 следует отказаться.

4. Хороший эффект очистки дает применение растворов 5 и 10% Na_2SO_3. Выхлопные газы полностью очищаются от акролеина, но жизненность 5% Na_2SO_3 невелика (табл. 4). Это исключает возможность его применения как эффективного очистительного средства.

Раствор Na_2SO_3 с добавкой $C_6H_6O_2$ (с целью замедления окисления сульфита натрия кислородом воздуха) обеспечивает полную очистку выхлопных газов в течение всего времени испытания, химически связывая альдегиды по уравнению

$$Na_2SO_3 + HCHO + H_2O \rightarrow NaOH + CH_2(NaSO_3)OH.$$

5. Кислотность раствора в очистителе в период всех испытаний сохраняется нейтральной, несмотря на интенсивное растворение в нем

окислов азота. Растворение окислов азота в воде идет двумя путями: а) образование HNO_2; б) образование HNO_3, которая, являясь сильной кислотой, при концентрациях меньших 20% подвергается полному гидролизу с образованием устойчивого соединения $HOONO_2$. Азотистая кислота HNO_2, являясь крайне неустойчивой, разлагается, образуя окислы азота.

6. Процент поглощаемых окислов азота составляет в среднем 20—25, т. е. использованные при испытаниях растворы не обеспечивают должной очистки выхлопных газов от нитрозных дымов.

Выводы

1. Очищать выхлопные газы альдегидов практически возможно с применением очистителей, работающих по принципу мокрой очистки газов химическими растворами.

2. Наилучший эффект очистки дает раствор 10% Na_2SO_3 с добавкой $C_6H_6O_2$.

3. Количество раствора, потребное в смену (8 часов) для очистки выхлопных газов двухтактного двигателя, может быть принято из расчета 1 *кг* раствора на единицу мощности двигателя (1 *л. с.*).

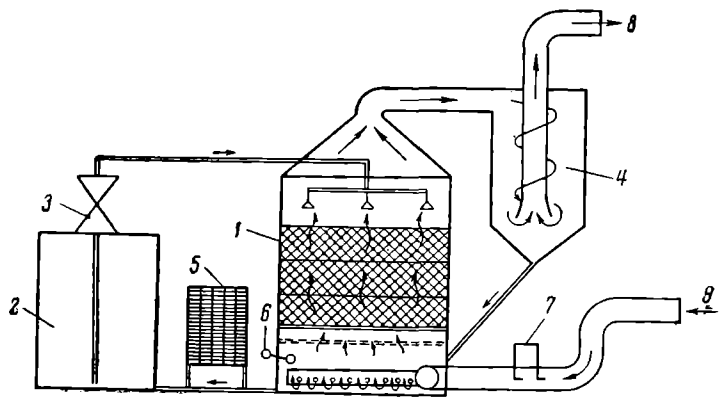


Рис. 4. Рекомендуемая схема очистителя:
1 — очиститель; *2* — дополнительный бачок; *3* — насос; *4* — центробежный сепаратор; *5* — радиатор; *6* — автоматический выключатель насоса; *7* — разбрызгиватели; *8* — выход газов в атмосферу; *9* — вход газов от двигателя.

4. Сопротивление очистителя при нормировании уровня раствора не превышает 30 000—40 000 *кμ*, т. е. потребление мощности двигателя очистителем при максимальных нагрузках составляет 1—2%. Если учесть, что применение очистителя позволяет отказаться от глушителя, то общее сопротивление выхлопной системы может несколько уменьшиться.

5. Анализ работы очистителя, использованного при испытаниях, свидетельствует о недостатках принятой конструкции, которые могут быть в значительной степени устранены путем установки дополнительного бачка (отдельно от очистителя), применения центробежного сепаратора для отделения влаги из очищенных газов, предварительного охлаждения газов в выхлопной трубе с помощью специальных разбрызгивателей, установки радиатора, дополнительно охлаждающего раствор при работе в летнее время.

Конструкция очистителя при этом будет иметь вид, изображенный на рис. 4.

6. Полученные результаты позволяют дать принципиальный расчет очистителя выхлопных газов дизельных автомашин.

Расчет очистителя. Предлагаемый расчет имеет целью определени основных параметров (расхода раствора и размеров очистителя), кото рые должны обеспечить очистку выхлопных газов, указанных в табл. 5 автосамосвалов.

Таблица 5

Основные виды автосамосвалов, применяемых в горной промышленности СССР

Марка автосамосвала	Мощность двигателя, *л. с.*	Тип двигателя	Расход топлива, *кг/смена*	Объем выхлопных газов, *м³/смена*
МАЗ-205	100	Двухтактный	30—40	2500
ЯАЗ-210Е	160	То же	70—80	4000
МАЗ-525	350	Четырехтактный	120—140	4200
Татра 111	135	То же	60—70	2100

Количество раствора, потребное для очистки выхлопных газов двух тактного двигателя, можно принять из расчета 1 *кг* раствора на единиц мощности, т. е. для автосамосвала МАЗ-205 потребное количество рас твора в смену составит 100 *кг*, а для ЯАЗ-210Е 160 *кг*. *

Для четырехтактного двигателя количество выделяющихся в смен выхлопных газов может быть подсчитано в зависимости от расхода топ лива

$$Q = kq, \ м^3,$$

где q — расход топлива, *кг/смена*;

k — коэффициент, определяющий объемный расход воздуха пр сжигании 1 *кг* топлива ($k = 30$).

Величина Q не учитывает приращения объема выхлопных газов по действием температуры. Температура выхлопных газов в очистителе мо жет быть принята равной 50°

С учетом сказанного выше

$$Q_{пр} = Q \frac{273 + t_1}{273 + t_0}, \ м^3,$$

где $Q_{пр}$ — количество выхлопных газов, приведенное к нормальны условиям;

t_1 — температура выхлопных газов в очистителе;

t_0 — окружающая температура воздуха.

Количество раствора, потребное для очистки выхлопных газов четы рехтактного двигателя,

$$G = \frac{Q_{пр} g}{1000}, \ кг,$$

где g — количество влаги, уносимой из раствора 1 $м^3$ газа, *г*, $g = d_2 - d_1$ (d_2 — содержание водяного пара в 1 $м^3$ очищенно газа при полном насыщении, *г*; d_1 — содержание водяно пара в 1 $м^3$ воздуха, поступающего в двигатель, *г*).

* Указанные нормы расхода раствора для двухтактных двигателей, так же к и объемы выхлопных газов (табл. 1), получены экспериментально. Дать расчет кол чества выхлопных газов не представляется возможным, вследствие крайней неравн мерности работы двигателя и разных отношений В/Т, имеющих место у двухтактны двигателей.

Общее количество раствора, необходимое для эффективной работы очистителя в течение смены,

$$G_0 = G + D, \ кг,$$

где D — минимально допустимое количество раствора в очистителе (устанавливается опытным путем в зависимости от размеров очистителя).

Величина G_0 должна проверяться по поглотительной способности раствора

$$G_0 \geqslant \frac{k' c Q_{пр}}{100 m} j, \ кг,$$

где k' — процент поглощаемых в очистителе вредностей;
c — концентрация поглощаемых вредностей в выхлопных газах, $мг/л$;
m — поглотительная способность применяемого раствора, $мг/л$;
j — удельный вес очищаемых газов, $кг/м^3$.

Если принять необходимое время контактирования газа с раствором, равным 1сек., при условии, что путь контактирования 0,6 $м$, то скорость движения газов в очистителе

$$v = \frac{h}{t} \leqslant 0{,}6, \ м/сек,$$

где t — время контактирования, сек.;
h — путь контактирования, $м$.

Высота очистителя с учетом места расположения разбрызгивателей (0,1 $м$)

$$H = h + 0{,}1, \ м.$$

Рабочая площадь очистителя

$$S = p \frac{Q_{пр}}{3600 \cdot 8v}, \ м^2,$$

где p — коэффициент, учитывающий неравномерность работы двигателя, может быть принят равным 1,5.

С учетом коэффициента использования сечения, в результате наличия в очистителе фильтрующего материала, общая площадь очистителя

$$S' = \frac{S}{k''}, \ м^2,$$

где k'' — коэффициент использования сечения (определяется в зависимости от вида применяемого фильтрующего материала).

$$k'' = \frac{S' - S_ф}{S'},$$

где $S_ф$ — площадь, занимаемая фильтрующим материалом, $м^2$.

Объем раствора, находящегося в очистителе,

$$V_р = S' 0{,}2, \ м^3.$$

Потребный объем дополнительного бачка

$$V_д = \frac{G_0}{1000} - V_р, \ м^3.$$

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Вредные вещества в промышленности. Ч. II. Госхимиздат, 1954.
2. Коржев П. П. Справочник по химии. Изд. III. Учпедгиз, 1954.
3. Битколов Н. З. Состав атмосферы на Блявинском карьере. Изв. высших учебных заведений МВО СССР, серия «Горное дело», 1958, № 3.