

ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДА ОЧИСТКИ ВЫХЛОПНЫХ ГАЗОВ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Н. З. Битколов

Широкое внедрение механизмов с двигателями внутреннего сгорания в горной промышленности привело к необходимости создания защитных приспособлений от вредных и ядовитых примесей, содержащихся в выхлопных газах (окиси углерода, окислов азота, альдегидов, окислов свинца и др.). В зависимости от типа двигателя и его конструкции, а также от применяемого топлива состав выхлопных газов может изменяться.

Так, при работе бензиновых двигателей выхлопные газы содержат высокий процент углекислого газа и окиси углерода, очень мало кислорода. При работе двигателей на этилированном бензине выделяются кроме того чрезвычайно ядовитые окислы свинца. В отличие от бензиновых при работе дизельных двигателей выхлопные газы содержат небольшие концентрации CO_2 и CO , но имеют окислы азота и альдегиды.

При топливе, содержащем серу, образуются ее окислы. Так, при наличии в топливе 0,2% серы концентрация окислов серы составляет 0,013%, а при 0,8% — около 0,05% [3]. В выхлопных газах двигателей внутреннего сгорания обнаружен еще и полициклический углеводород 3,4-бензпирен, являющийся канцерогенным веществом. Максимальное его образование достигает 0,75 мг/мин [2].

Состав выхлопных газов двигателей внутреннего сгорания

Газ	Концентрация газа, % по объему	
	на холостом ходу	под нагрузкой
	Бензиновые двигатели	
O_2	1,4	1,3—9,8
CO_2	10	6,1—13,7
CO	3,6	0,4—13,0
N_2O_5	0,0008	0,0013—0,4180
Альдегиды	0,0088	0,0193—0,1369
	Дизельные двигатели	
O_2	18,2—19,6	11,5—17,0
CO_2	0,6—2,0	2,2—8,8
CO	0,05—0,09	0,02—0,20
N_2O_5	0,0020—0,0135	0,0043—0,0295
Альдегиды	0,0020—0,0225	0,0018—0,0312

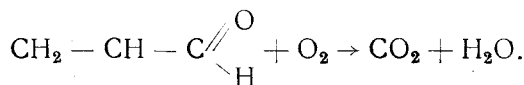
Как видно из данных таблицы, бензиновые двигатели в отличие от дизельных выделяют при работе значительно больше вредных газов, главным из которых является окись углерода. Вредность выхлопных газов дизельных двигателей определяется количеством окислов

азота и альдегидов. Различный состав выхлопных газов при работе разных типов двигателей внутреннего сгорания определяет подход к выбору метода газоочистки. Метод должен основываться на свойствах ядовитых примесей и возможных путях их удаления из выхлопных газов.

Оксид углерода можно дожигать в CO_2 : $(2\text{CO} + \text{O}_2 = 2\text{CO}_2)$ при $610\text{--}658^\circ$. Окисление CO может происходить и при значительно более низких температурах в присутствии катализаторов. Так, платиновые и палладиевые катализаторы позволяют снизить температуру окисления CO до $250\text{--}400^\circ$.

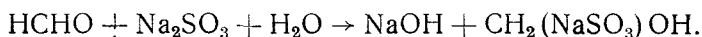
Хорошие результаты по окислению CO в условиях низких температур дает гопккалит, однако при наличии паров воды он быстро теряет свою активность. Кроме того, повышение температуры может привести к диссоциации гопккалита, поэтому его целесообразно применять при $120\text{--}280^\circ$. Наиболее работоспособен при низких температурах (20°) катализатор, содержащий перманганат серебра.

Окисление альдегидов и других углеводородистых соединений, содержащихся в составе выхлопных газов, может происходить при $200\text{--}400^\circ$ в присутствии катализатора. Реакция при этом идет по уравнению



При относительно низких температурах альдегиды окисляются до промежуточных продуктов — кислот (например, акриловой).

Удалить альдегиды из состава выхлопных газов можно и их промывкой химическими растворами. При использовании растворов сульфата натрия альдегиды связываются по уравнению



Наиболее трудноудаляемой примесью являются окислы азота, которые образуются при высокой температуре и давлении в цилиндрах в течение каждого цикла. В качестве средств для улавливания окислов азота можно использовать различные химические растворы и активированный уголь.

Активированный уголь, как указывает Н. Д. Зелинский [1], обеспечивает поглощение окислов азота от 23 до 49% от веса угля. Необходимо, однако, помнить, что наличие влаги в очищаемых газах значительно снижает активность поглощения углем окислов азота.

Наилучшим результатом при очистке выхлопных газов двигателей внутреннего сгорания является полное удаление из их состава всех ядовитых и вредных примесей, что в связи с различными химическими свойствами газов и отсутствием универсальных газопоглотителей технически трудно осуществимо. Поэтому при выборе метода газоочистки необходимо учитывать тип и конструкцию двигателя и условия эксплуатации. Общий объем вредных газов, выделяющихся при сгорании единицы топлива в дизельных двигателях, значительно меньше, чем в бензиновых, поэтому их применение предпочтительней.

На основании многочисленных анализов выхлопных газов двух- и четырехтактных двигателей установлено, что в четырехтактных топливо сгорает более полно и соответственно меньше количество образующихся вредных газов. Кроме того, факельное зажигание топлива в цилиндрах позволяет работу дизельного двигателя с точки зрения состава выхлопных газов еще более усовершенствовать. Таким образом, наиболее удобны в санитарно-гигиеническом отношении четырехтактные дизельные двигатели.

Широкое внедрение двигателей внутреннего сгорания в горной промышленности продиктовано преимуществами этих источников энергии. Однако последствия, возникающие при работе различных типов двигателей внутреннего сгорания в специфических условиях горных предприятий, не учитываются при создании новых видов горного оборудования и применении существующих агрегатов. Особо важное значение приобретает выбор типа и конструкции двигателя внутреннего сгорания в условиях подземных горных работ. Жесткие нормы санитарно-гигиенических условий труда, обеспечивающие полную безопасность работ и возможно меньшие экономические затраты — факторы, которые определяют правильный выбор двигателя внутреннего сгорания для подземных работ. С этой точки зрения ни один из типов двигателей, эксплуатирующихся в промышленности, не пригоден к подземным усло-

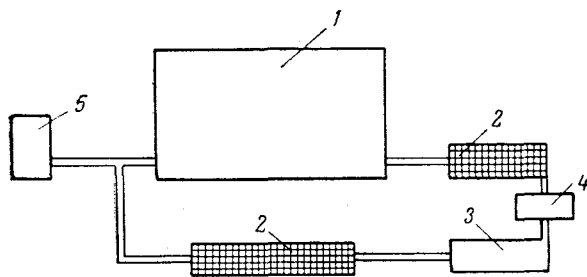


Рис. 1. Схема работы двигателя по замкнутому циклу:

1 — двигатель; 2 — газохладители; 3 — фильтр для улавливания сажи; 4 — поглотитель CO_2 ; 5 — кислородный баллон

виям, так как вредные примеси выхлопных газов требуют 600—800-кратного разжижения. Для условий подземных горных работ необходимы газобаллонные двигатели и двигатели, работающие по замкнутому циклу.

Конструкция газобаллонных двигателей разработана и успешно может использоваться при относительно небольших радиусах действия агре-

гатов, на которых она установлена. Основным достоинством такого двигателя является безопасность в санитарно-гигиеническом отношении.

Проблема безопасного применения двигателей внутреннего сгорания может быть полностью решена при работе двигателя по замкнутому циклу (рис. 1). Выхлопные газы из двигателя поступают по трубопроводу в газопоглотитель CO_2 , затем охлаждаются и возвращаются в двигатель. Очищенные газы дополнительно обогащаются кислородом.

При работе по замкнутому циклу содержащиеся в составе выхлопных газов окись углерода и продукты неполного сгорания углеводородистых соединений в виде акролеина, формальдегида и других газов вновь возвращаются в двигатель и сгорают в цилиндрах при очередном процессе воспламенения рабочей смеси. Таким образом, в системе они накапливаться не будут. Конечные продукты горения в виде CO_2 улавливаются поглотителем. Удаление окислов азота наиболее затруднено, но практически осуществимо, если поглотителем служит активированный уголь. Появление окислов азота может быть исключено заполнением системы инертным газом. Кислород может подаваться из специальных баллонов.

Двигатели с замкнутым циклом целесообразны для агрегатов с высоким содержанием кислорода на выхлопе. К таким относятся четырехтактные дизельные двигатели, в которых содержание кислорода на выхлопе не ниже 17%.

Проблема безопасности двигателей внутреннего сгорания в горной промышленности может быть решена посредством очистки выхлопных газов от вредных и ядовитых примесей. Известны два основных способа очистки выхлопных газов. Первый основан на дожигании примесей в практически безвредные соединения. Он приемлем при условии, что удаляемые примеси являются горючими, т. е. для случая, когда

в составе выхлопных газов в большом количестве присутствуют окись углерода и углеводородистые соединения. Способ дожигания можно эффективно использовать при работе бензиновых двигателей (см. таблицу). При работе дизельного двигателя в составе выхлопных газов главными ядовитыми примесями являются окислы азота и альдегиды, а окись углерода имеет подчиненное значение. Максимальное содержание окиси углерода 0,2%, окислы азота составляют 0,0295%, альдегиды 0,0312%, что соответственно в 125, 295 и 335 раз больше концентраций, допускаемых санитарными нормами. Итак, из выхлопных газов желательно в первую очередь удалить окислы азота и альдегиды. Способ дожигания обеспечивает удаление альдегидов и окиси углерода, но окислы азота при этом сохраняются полностью. Возможно разложение окислов азота на азот и кислород в присутствии палладиевого катализатора при высокой температуре (650—700°).

Второй способ, основанный на промывке газов химическими растворами, позволяет удалять из состава выхлопных газов именно альдегиды и окислы азота.

Схема нейтрализатора выхлопных газов, действующего на принципе каталитического дожигания (рис. 2), кроме собственного катализатора

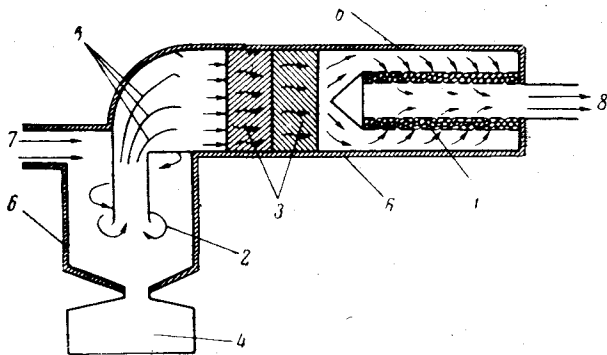


Рис. 2. Схема нейтрализатора выхлопных газов с каталитическим дожиганием:

1 — катализатор; 2 — фильтр грубой очистки; 3 — фильтр тонкой очистки; 4 — масло- и топливосборник; 5 — лопатки для выравнивания газового потока; 6 — теплоизоляционный слой; 7 — газы от двигателя; 8 — выход газов в атмосферу

предусматривает установку фильтров грубой и тонкой очистки газов от остатков топлива и сажи, так как несгоревшие остатки топлива, попадая на катализатор, резко снижают его активность. Для предупреждения потерь тепла трубопровод, подводящий газ и нейтрализатор, покрываются теплоизолирующим слоем. Наиболее активным катализатором является платина, нанесенная на носитель, в качестве которого можно использовать трегер, глинозем, активную окись алюминия и др.

Полное удаление окиси углерода и углеводородистых соединений обеспечивается при температуре выхлопных газов 250° и объемной скорости газоочистки 75 000—100 000 литров газа на литр катализатора в час. Снижение температуры газов менее 200—150° резко снижает степень дожигания ядовитых примесей.

Толщина слоя катализатора должна приниматься с учетом возможного отравления лобового слоя несгоревшими остатками топлива. В целом при выборе толщины слоя необходимо уменьшать сечение и увеличивать мощность слоя. Это сохранит большую часть каталитического слоя в активном состоянии.

Рассчитать количество катализатора, необходимого для очистки выхлопных газов того или иного типа двигателя, можно по формуле

$$W = \frac{Q_{в.г} \cdot 1000}{v}, \text{ л,}$$

где $Q_{в.г}$ — объем выхлопных газов, очищаемых в единицу времени, $\text{м}^3/\text{ч}$;

v — объемная скорость газоочистки, литр газа на литр катализатора в час.

Количество платины, приходящейся на единицу объема катализатора, должно быть не менее 1,5 г/л.

Схема очистителя, действующего на принципе промывки выхлопных газов химическими растворами, показана на рис. 3. Выхлопные газы из двигателя поступают в очиститель по трубе, переходящей внутри корпуса очистителя в коллектор, состоящий из набора труб с отверстиями. Отверстия расположены на одной половине труб, обращенной ко дну очистителя. По выходе из труб коллектора выхлопные газы проходят через находящийся в очистителе раствор, затем следуют через успокоитель и расположенный выше него пористый фильтрующий слой толщиной 200—300 мм. Затем очищенные газы проходят через сепаратор и выходят в атмосферу. Для хранения необходимого количества раствора очиститель снабжается дополнительным бачком.

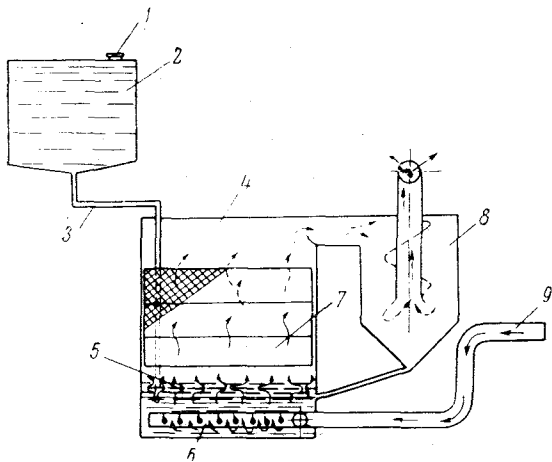


Рис. 3. Принципиальная схема очистительной установки:

1 — заливное отверстие с герметичным уплотнителем; 2 — дополнительный бак; 3 — сливная труба; 4 — корпус очистителя; 5 — успокоитель; 6 — коллектор; 7 — фильтровальный слой; 8 — сепаратор; 9 — отвод от выхлопной трубы

Наиболее работоспособными растворами по очистке выхлопных газов от окислов азота и альдегидов являются 10% NaHCO_3 и 10% FeSO_4 . Расход раствора на газоочистку определяется объемом очищенных газов, их температурой после очистки и влажностью. Температура газов после очистки не превышает 50—54°. Влажность 90—95%.

Недостатки и достоинства каждого из рассмотренных способов очистки выхлопных газов определяют условия их применения. До-

жигание ядовитых примесей связано со значительной температурой выхлопных газов и катализатора, что делает этот способ неприемлемым в период запуска двигателя, при работе на холостом ходу и при периодической работе. Кроме того, дожигание характеризуется высокой температурой газов на выходе, что создает определенную опасность в пожарном отношении. Однако способ дожигания позволяет делать очистительную установку компактной и долгодействующей. При значительном содержании СО в очищенных газах обеспечивается саморазогрев катализатора за счет сгорания окиси углерода. Таким образом, способ дожигания эффективен для двигателей, при работе которых в составе выхлопных газов в основном содержатся окись углерода и альдегиды. К числу таких двигателей относятся бензиновые и газолиновые, применение которых возможно только в условиях открытых пространств вследствие высокой токсичности выхлопных газов.

При способе, основанном на промывке газов химическими растворами, не обеспечивается удаление окиси углерода, лишь частично удаляются окислы азота и много расходуется раствора на газоочистку. Вместе с тем этот способ приемлем при любом режиме работы двигателя и непосредственно после запуска — он обеспечивает очистку в установленных пределах. Способ промывки целесообразен при наличии в выхлопных газах небольших концентраций СО, когда окись углерода играет подчиненное значение среди других компонентов. Его

можно рекомендовать при работе дизельных двигателей внутреннего сгорания.

Итак, при выборе способа очистки выхлопных газов необходимо учитывать тип и конструкцию двигателя, условия их применения и затраты. Способы газоочистки, рекомендуемые в зависимости от типа и конструкции двигателя, рассматривались выше.

Условия, при которых должен работать двигатель, могут служить решающим фактором, определяющим как способ газоочистки, так и тип двигателя. При работе двигателя в закрытых помещениях необходимо ориентироваться на способы очистки с максимальным эффектом и обеспечением пожарной безопасности. Наиболее приемлемы в этом отношении дизельные двигатели, оборудованные промывными газоочистителями. Способ промывки газов химическими растворами примерно в 10 раз экономичнее, чем дожигание ядовитых примесей, однако длительность действия последнего делает его более экономичным.

Выводы

1. При выборе типа двигателя внутреннего сгорания по условиям безопасности необходимо ориентироваться на четырехтактный дизель.

2. Использование дизельных двигателей требует обязательного проведения очистки выхлопных газов.

3. Для двигателей, работающих в постоянном режиме, и бензиновых двигателей наиболее целесообразен метод дожигания ядовитых примесей выхлопных газов.

4. При прерывистой работе дизеля и непостоянных нагрузках более надежен метод промывки газов химическими растворами.

5. Работа дизелей в подземных условиях обязывает использовать более тщательные способы предупреждения вредного влияния выхлопных газов. В этом отношении перспективен двигатель, который работает по замкнутому циклу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зелинский Н. Д., Садиков В. С. Уголь как средство борьбы с удушающими и ядовитыми газами. Изд-во АН СССР, 1936.

2. Недогибченко М. К. Санитарная охрана воздуха, «Гигиена и санитария», 1958, № 8.

3. Henley M. A. Price. Mine and Quarry Engng., 1958, v. 24.
