

УДК 541.126

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

И. Л. ВАРШАВСКИЙ, Б. Н. ДОЦЕНКО, В. Б. КЛЯЦКИН, В. Ф. КУТЕНЕВ,
Е. П. МОСИХИН, А. Я. ХЕСИНА, С. С. ХИТРОВО, Л. М. ШАБАД

ЗАВИСИМОСТЬ ВЕЛИЧИНЫ ВЫБРОСА ТОКСИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ ДВИГАТЕЛЕМ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ С ПРИНУДИТЕЛЬНЫМ ЗАЖИГАНИЕМ ОТ СПОСОБА УДАЛЕНИЯ КАРТЕРНЫХ ГАЗОВ

(Представлено академиком Н. М. Эмануэлем 9 IV 1970)

Основными токсическими компонентами, выбрасываемыми двигателями внутреннего сгорания с принудительным зажиганием, являются окись углерода, окислы азота, альдегиды, углеводороды и канцерогенное

вещество — бенз(а)пирен. Эти вещества поступают в атмосферу, в основном, с выхлопными газами и, в меньшей степени, с картерными газами. В настоящее время для ликвидации выброса углеводородов с картерными газами наиболее целесообразным признается возвращение их во впускную систему с последующим сжиганием в цилиндрах двигателя. В США с 1968 г. все выпускаемые автомобили оборудуются принудительной системой вентиляции картера (¹). В то же время влияние сжигания в цилиндре картерных газов на концентрацию токсических компонентов в выхлопных газах изучено недостаточно. Возможность такого влияния определена в работах (^{2, 3}), в которых расчетным путем определялось изменение концентрации окиси углерода и окислов азота в выхлопных газах при возвращении картерных газов во впускную систему перед карбюратором или после него. Эти расчеты были проведены только для режимов полной нагрузки, причем влияние рециркуляции картерных газов на изменение концентрации токсичных компонентов усматривалось как следствие изменения коэффициента избытка воздуха.

Такое исследование нельзя считать исчерпывающим по следующим причинам: двигатель в условиях городского движения работает на режиме максимальной нагрузки не более 10—15% от общего времени работы;

влияние системы вентиляции картера рассматривалось только для окислов азота и окиси углерода; для углеводородов — компонента, для кото-

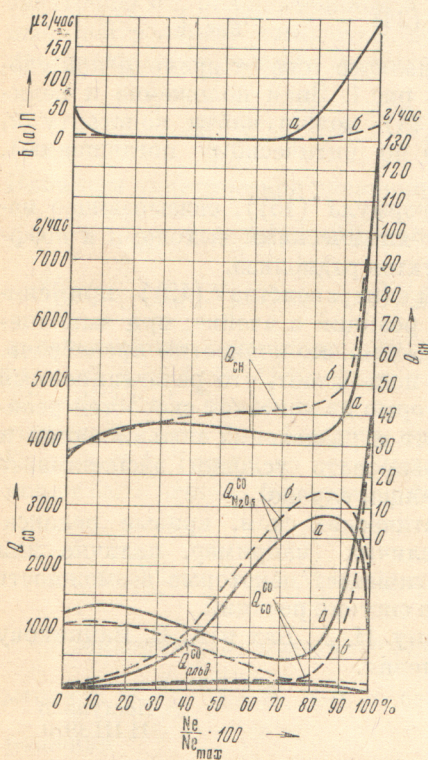


Рис. 1. Зависимость выброса токсичных и канцерогенных веществ от нагрузки. $n = 2000$ об/мин, а — суммарный выброс с выхлопными и картерными газами при разомкнутой системе вентиляции картера, б — выброс с системой вентиляции картерных газов с возвращением картерных газов перед карбюратором

рого предназначена система вентиляции картера, влияние возвращения картерных газов во впускную систему двигателя не рассмотрено; влияние системы вентиляции картера на выброс бенз(а)пирена может не ограничиваться изменением коэффициента избытка воздуха, вследствие наличия в картерных газах значительных количеств смазочного масла, влияющего на концентрацию этого компонента в выхлопных газах. Очевидно, что влияние вентиляции картера на выброс токсических веществ должно быть рассмотрено не только для двигателей с обычной формой проведения рабочего процесса, но и для перспективных двигателей — с вихревым движением заряда в цилиндре, с форкамерно-факельным зажиганием, имеющих принципиальные отличия в закономерностях выброса токсических компонентов (5, 4).

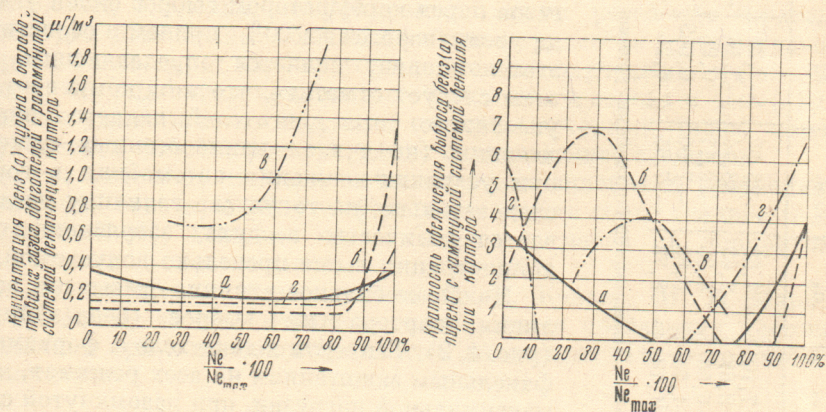


Рис. 2. Значение увеличения выброса канцерогенного вещества бенз(а)-пирена при применении замкнутой системы вентиляции картера. *a* — двигатель с обычным рабочим процессом и с системой подачи картерных газов за карбюратор (1600 об/мин). *b* — форкамерно-факельный двигатель, подача картерных газов за карбюратор (1000 об/мин). *c* — двигатель с вихревым движением заряда в цилиндре, подача картерных газов перед карбюратором (3000 об/мин), *d* — двигатель с обычным рабочим процессом, подача картерных газов перед карбюратором (3000 об/мин)

В настоящей работе, наряду с определением влияния возвращения картерных газов во впускную систему двигателя на измененные концентрации токсических компонентов в выхлопных газах, был определен выброс токсичных и канцерогенных компонентов с картерными газами для определения суммарного выброса из обоих источников. Исследование проводилось на четырех двигателях с различной системой вентиляции картера — замкнутой перед карбюратором и после него. Обследовались двигатели с обычной формой рабочего процесса, с вихревым движением заряда в цилиндре, с форкамерно-факельным зажиганием.

Проведенными исследованиями выяснено, что система рециркуляции картерных газов существенным образом влияет на величину токсических выбросов всех анализируемых компонентов. На рис. 1 показано изменение величины часового выброса токсичных компонентов в зависимости от нагрузки для двигателя с обычной организацией рабочего процесса при различном удалении картерных газов — разомкнутая система вентиляции картера и замкнутая перед карбюратором. Как видно из рис. 1, применение замкнутой системы вентиляции картера с возвращением картерных газов перед карбюратором существенно не изменяет суммарный выброс углеводородов, так как ликвидация выброса этого компонента с картерными газами компенсируется увеличением выброса с выхлопными газами, т. е. замкнутая система вентиляции картера не достигает в этом случае своей основной цели — уменьшения выброса углеводородов. В то же

Таблица 1

Вещество	Размерность концентрации	a_0	a_1	a'_1	a_2	a'_2	a_3	a'_3	a_4	a'_4	a_5	a'_5	Коэффициент корреляции
CO	%	413,42	$-6,97 \cdot 10^{-4}$	2,99	-78,77	64,27	7,40	-4,52	25,57	-2,21	-73,68	57,89	0,945
CH	мг/л	63,42	$-1,28 \cdot 10^{-3}$	4,32	-5,54	3,21	3,61	-2,63	28,24	-2,16	-104,33	78,08	0,932
N ₂ O ₅	мг/л	-178,44	$-7,8 \cdot 10^{-4}$	4,73	-1,39	5,31	-6,56	4,35	-19,17	0,98	186,44	-140,11	0,928
CHON	мг/л	-48,24	$-2,51 \cdot 10^{-3}$	7,87	13,28	-44,46	-4,75	0,83	-7,09	0,045	-22,46	17,25	0,867
Б (а) II	мг/м ³	549,85	$4,57 \cdot 10^{-3}$	-16,89	-200,41	492,52	61,13	-28,73	-97,65	6,26	-267,06	203,66	0,817

Примечание. При определении коэффициентов уравнений связи и коэффициентов множественной корреляции уровень доверительной вероятности составляет не ниже 0,99.

время определено, что при возвращении картерных газов перед карбюратором уменьшается выброс окислов азота на 10% в диапазоне, где этот компонент является определяющим (требуемым для своего разбавления максимального количества чистого воздуха), а также альдегидов — на 20%, причем этот компонент не является определяющим ни на одном из возможных режимов данного двигателя.

Наиболее существенным является изменение выброса окиси углерода и бенз(а)пирена. Как видно из рис. 1, при возвращении картерных газов перед карбюратором выброс окиси углерода увеличивается на 20%, причем в области, где этот компонент является определяющим. При этом следует отметить, что этот компонент для указанного типа двигателей является определяющим (не считая канцерогенных веществ) при условиях движения автомобиля в городе, следовательно, на такую же величину увеличивается количество воздуха, загрязненного до концентрации выше предельно допустимой.

Наиболее сильное влияние оказывает вентиляция картера на выброс бенз(а)пирена (рис. 1, 2). Так, если в двигателе с форкамерно-факельным зажиганием на всех режимах, кроме максимальной нагрузки, при разомкнутой системе вентиляции картера бенз(а)пирена не обнаруживается при определении вплоть до $0,2 \text{ мкг/м}^3$, то при замкнутой системе вентиляции картера обнаруживаются ощутимые концентрации во всем диапазоне нагрузки. У других типов двигателей также наблюдается увеличение выброса бенз(а)пирена, особенно на холостом ходу и на режиме максимальной мощности. Объяснение увеличения выброса бенз(а)пирена изменением коэффициента избытка воздуха, очевидно, не будет исчерпывающим, так как это увеличение проявляется как при обогащении смеси (в случае подачи картерных газов перед карбюратором), так и при обеднении смеси (в случае подачи картерных газов перед карбюратором).

Выброс окиси углерода, окислов азота, альдегидов и бенз(а)пирена с картерными газами составляет не более 1—3% от выброса с выхлопными, т. е. значительно меньше, чем увеличение выброса с выхлопными газами при возвращении газов во впускную систему. И даже ликвидация выброса углеводородов с картерными газами может оказаться нецелесообразной вследствие увеличения выброса с выхлопными газами.

С целью наиболее полного описания наблюдаемых закономерностей во всем диапазоне нагрузок и чисел оборотов методом множественной корреляции на э.в.м. были получены зависимости, аппроксимирующие связь концентраций токсических и канцерогенных веществ с количеством возвращаемых перед карбюратором кар-

терных газов при различных регулировочных и режимных параметрах. В качестве независимых переменных в уравнениях были выбраны: число оборотов n , коэффициент избытка воздуха α , коэффициент наполнения n_v , расход картерных газов $Q_{к.г.}$, расход воздуха через двигатель Q , относительный к.п.д. — $\eta_i / \eta_{терм.}$, индикаторный к.п.д. — η_i , термодинамический к.п.д., $\eta_{терм.}$, определенный согласно работе (6). Исследовано пять видов зависимостей: линейная, степенная, гиперболическая, экспоненциальная и квадратичная. Из них наилучшее приближение дала экспоненциальная зависимость вида

$$c_i = e^{a_0} e^{a_1 n} n^{a'_1} e^{a_2 \alpha} \alpha^{a'_2} e^{a_3 n_v} n_v^{a'_3} e^{a_4 (Q_{к.г.}/Q)} (Q_{к.г.}/Q)^{a'_4}.$$

Численные значения коэффициентов линии регрессии приводятся в табл. 1 для двигателя с обычным рабочим процессом при возвращении картерных газов перед карбюратором. Анализ полученных уравнений показывает, что для таких компонентов как окись углерода и бенз(а)пирен количество удаляемых во впускную систему картерных газов, наряду с коэффициентом избытка воздуха, имеет определяющее значение.

Следует отметить, что количественные соотношения в уравнении для концентрации бенз(а)пирена получены для одного сорта топлива (АИ-93) и масла (SAE-30). Влияние сорта топлива и масла на концентрацию бенз(а)пирена не определялось.

Авторы выражают благодарность Б. Ф. Коневу, И. В. Марковой, Л. И. Вахошину за предоставление возможности проведения настоящего исследования при испытании двигателей на стендах Научного автомобильного института.

Институт экспериментальной и клинической онкологии
Академии медицинских наук СССР
Москва

Поступило
30 III 1970

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ The Automobile and Air Pollution. A Programm for Progress, Part I, 10, 1967.
- ² Oxides of Nitrogen Assume New Importance in Air Pollution. The Clean Air, 6 (№ 1). 1962, p. 341.
- ³ C. C. Hass, Effect of Crancase Control Devices on Motor Vehicles Exhaust Emission. Supervising Engineer Motor Vehicle. Pollution Control Board, State of California, 1961.
- ⁴ А. М. Жаботинский, А. Г. Маленков и др., Изв. АН СССР, сер. биол., № 6, 908 (1964).
- ⁵ И. Л. Варшавский, Л. И. Вахошин и др., Сборн. Автомобилестроение, № 3, 1969, стр. 41.
- ⁶ Б. С. Стечкин, К. И. Генкин и др., Индикаторная диаграмма и динамика тепловыделения, Изд. АН СССР, 1961.