

$$\text{разом } R = \sqrt{\left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k+1}{k-1}} \frac{2k^2}{k+1}} \rho_k F_{кр} [\rho_k \pi (\lambda_a) - 1] \varphi_a, \quad (17)$$

или

$$\rho_{кэф} = \frac{R + \rho_k \varphi_a}{\lambda_a \varphi_{кр} \psi(k) + \pi (\lambda_a) \varphi_a}, \quad \text{где } \psi(k) = \sqrt{\left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k+1}{k-1}} \frac{2k^2}{k+1}}. \quad (18)$$

Физически можно объяснить так; это давление, которое существовало бы в камере в том случае, когда тангенциальная компонента скорости была бы равна нулю, т.е. в котором существовало бы только осевое течение. Причем расход топлива и тяга были бы те же самые.

Таким образом, в работе получена инженерная методика расчета основных параметров вихревой камеры сгорания, а также даны рекомендации по обработке экспериментальных данных.

#### Л и т е р а т у р а

1. Добровольский М.В. Жидкостные ракетные двигатели. М., "Машиностроение", 1968.
2. Васильев А.В. и др. Основы теории и расчета жидкостных ракетных двигателей. М., "Высшая школа", 1967.
3. Мильцев Л.П., Ниязов В.Я. О влиянии закрутки потока на работу сверхзвукового сопла. Труды первой научно-технической конференции, Куйбышев, 1974.

С.Д. Стенгач, А.Н. Пискунов, С.А. Филатов

#### ВИХРЕВОЕ СМЕСЕОБРАЗОВАНИЕ И ТОКСИЧНОСТЬ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ КАРБЮРАТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Проблема снижения токсичности двигателей с искровым зажиганием требует незамедлительного решения, так как доля токсических веществ, поступающих в атмосферу с отработавшими газами, весьма значительна [1].

Количество выделяющихся токсических веществ, представляющих собой продукты неполного сгорания топлива двигателей с искровым зажиганием, может быть уменьшено путем совершенствования конструк-

ции и регулировок карбюратора при сохранении конструкции впускной системы.

В данной работе показано, что применение вихревого карбюратора [2] приводит к повышению экономических показателей при малой токсичности отработавших газов.

Основными токсическими веществами, выделяемыми двигателями с искровым зажиганием, являются окись углерода  $CO$ , углеводороды  $CH$ , альдегиды, окислы азота  $NO$ , бенз(о)пирен, соединения свинца [3]. Уменьшить содержание продуктов неполного сгорания топлива в отработавших газах можно либо, увеличивая полноту сгорания топлива в цилиндрах двигателя, либо дожигая в выпускной трубе. Согласно термической теории образования окислов азота [4], которая в настоящее время является общепринятой, окисление азота происходит за фронтом пламени в зоне продуктов сгорания, а выход окислов азота определяется максимальной температурой горения, концентрацией азота и свободного кислорода в продуктах сгорания и пребыванием азота в зоне с высокими температурами.

Следовательно, для уменьшения концентрации окислов азота в отработавших газах необходимо понизить максимальную температуру цикла, особенно, для бедных смесей, уменьшить время, в течение которого образуются окислы азота. Уменьшение цикловой неравномерности, обеспечение равномерного распределения топлива по цилиндрам двигателя приводит к снижению концентрации продуктов неполного сгорания и окислов азота в отработавших газах. Исследования [5] показали, что применение вихревого карбюраторного смесеобразования позволяет более полно динамически испарить топливо, получить однородную топливо-воздушную смесь на выходе из карбюратора, улучшить равномерность распределения топлива по цилиндрам, циклам и объёму камеры сгорания. Это приводит к более полному и своевременному (вблизи ВМТ) сгоранию топлива и позволяет сдвинуть предел эффективного обеднения смеси и устойчивой работы двигателя в области бедных смесей.

Увеличение полноты сгорания и работа двигателя на более бедных смесях приводит к повышению его топливной экономичности и к снижению токсичности отработавших газов, особенно, на частичных нагрузках. Снижение удельного расхода топлива в области малых и средних нагрузок по предельноэкономическим характеристикам доходит

до 17% при работе двигателя с вихревым карбюратором.

Опыты по изучению влияния вихревого карбюраторного смесеобразования на токсичность отработавших газов двигателя ГАЗ-24Д велись на моторном стенде фирмы ВЭБ. Испытания двигателя проводились с двумя карбюраторами - стандартным К-126Г и опытным. Регулировочные характеристики по составу смеси снимались с карбюратором К-126Г при изменении давления воздуха в его поплавковой камере, а с опытным - путем регулирования топливного жиклера.

Содержание  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{O}_2$  и  $\text{N}_2$  в отработавших газах определялось методом газовой хроматографии с помощью лабораторных хроматографов ХЛ-4 и ХЛ-9, а содержание  $\text{N}_2\text{O}$  - методом, основанным на поглощении двуокиси азота раствором иодистого калия, и методом калориметрического определения нитрат-иода по реакции с реактивом Грисса-Итосвая.

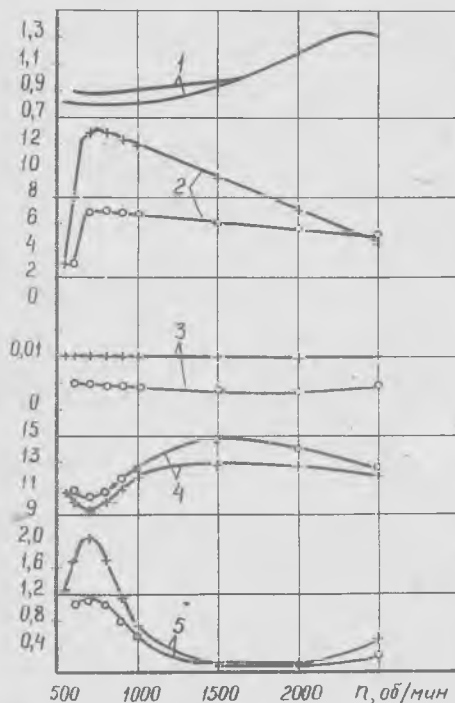
Пробы для газового анализа отбирались из выпускной трубы двигателя через пробоотборник в стеклянные сосуды, предназначенные для хранения газа и подачи его в лабораторные хроматографы. При проведении экспресс-анализа на содержание  $\text{CO}$  и  $\text{CO}_2$  газ из пробоотборника подавался в приемники газоанализаторов ОА220У и ОА2109.

Правилами № 15 ЕЭК ООН, рекомендуемыми для стран Европы, оценка токсичности автомобилей производится по выбору  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}$  с отработавшими газами, а при оценке токсичности автомобилей по Калифорнийскому циклу и по федеральному испытательному циклу США кроме  $\text{CO}$  и  $\text{CH}$  определяется содержание  $\text{NO}_x$  в отработавших газах.

Как известно, наибольший выброс  $\text{CH}$  с отработавшими газами имеет место при запуске и работе непрогретого двигателя, а наибольший выброс  $\text{CO}$  - при работе двигателя на глубоких дроссельных режимах, особенно на малых оборотах холостого хода.

ГОСТ 16533-70 ограничивает содержание  $\text{CO}$  на малых оборотах холостого хода до 4,5% (не более), а национальные стандарты США на 1976 г. для легковых автомобилей регламентируют предельный выброс  $\text{CO}$  - 2,1 г/км ( $\sim 1,47\%$ ),  $\text{CH}$  - 0,26 г/км ( $\sim 0,0034\%$ ) и  $\text{NO}_x$  - 0,2 г/км ( $\sim 0,0084\%$ ) [1].

На рис.1 приведены токсические характеристики холостого хода двигателя ГАЗ-24Д при оптимальном регулировании для двух способов смесеобразования. Из рисунка видно, что при вихревом смесеобразовании объемное процентное содержание  $\text{CO}$  в отработавших газах имеет



Р и с. 1. Токсическая характеристика холостого хода: 1- $\alpha$ ; 2- $O_2$ ; 3- $CH$ ; 4- $CO_2$ ; 5- $CO$ ; -+- K-126 Г; -o- BK 1-4

наибольшую величину 1,05% на режиме 700 об/мин. С увеличением оборотов содержание  $CO$  уменьшается, а начиная с 1500 об/мин, практически отсутствует. При обычном смесеобразовании на режиме в 700 об/мин содержание  $CO$  составляет 2,1%, что в 2 раза выше чем при вихревом.

Причина столь значительного снижения содержания  $CO$  в отработавших газах объясняется более равномерным распределением топлива по цилиндрам двигателя, расширением предела эффективного обеднения смеси и увеличением полноты сгорания топлива. Уменьшенное содержание кислорода и большее содержание углекислоты в отработавших газах при вихревом смесеобразовании (по сравнению с обычным при  $\alpha < 1$ ) является дополнительным подтверждением лучшего качества смесеобразования и более полного сгорания топлива на малых оборотах холостого хода.

Одновременно с этим уменьшается выброс несгоревших углеводородов  $CH$  на 50-70%.

Известно, что при регулировке двигателя на экономичные составы смеси в отработавших газах содержится минимальное количество  $CO$  и  $CH$ , тогда как содержание окислов азота достигает наибольшей величины. Поэтому уменьшение угла опережения зажигания, снижение степени сжатия, вводимые с целью понижения максимальной температуры цикла, а следовательно и содержания окислов азота до допустимой нормы, неизбежно приводят к увеличению удельного расхода топлива

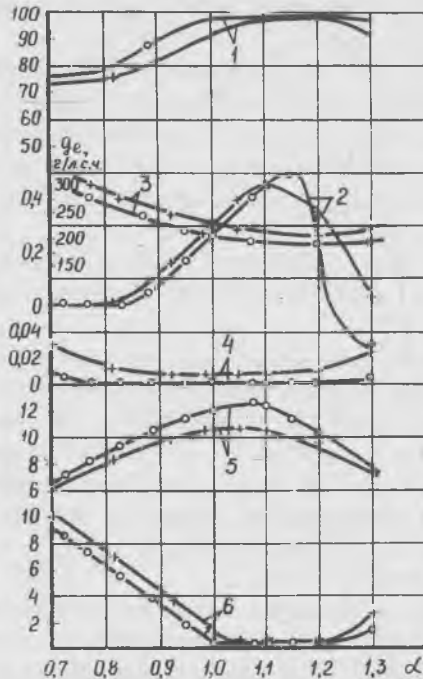
примерно на 25-30% [1]. При впрыске воды в цилиндры двигателя концентрация окислов азота в отработавших газах также снижается из-за снижения максимальной температуры цикла.

Вихревое смесеобразование наряду с улучшением экономических характеристик двигателя (из-за улучшения равномерности распределения топлива по цилиндрам двигателя) приводит к снижению содержания CO и CH в отработавших газах, а снижение температуры смеси на величину, определяемую теплотой парообразования, должно привести к снижению концентрации окислов азота в отработавших газах.

В отработавших газах оно имеет наибольшую величину на режимах, когда наполнение цилиндров двигателя достигает максимального своего значения.

На рис.2 приведены регулировочные характеристики двигателя ГАЗ-24Д, работающего на оборотах максимального крутящего момента при полном дросселе по составу смеси. Из рисунка видно, что максимальный выход окислов азота в пересчете на  $N_2 O_5$  в случае вихревого смесеобразования наблюдается при  $\alpha = 1,15$ , что примерно соответствует режиму максимальной экономичности, тогда как при обычном смесеобразовании максимальный выход наблюдается при  $\alpha = 1,1$ , что также соответствует рассматриваемому режиму.

Концентрация окислов азота в продуктах сгорания при вихревом смесеобразовании по всему диапазону изменения коэффициента избытка воздуха меньше  $\alpha = 1,1$ . Объясняется это тем, что при вихревом смесеобразовании горючая смесь, подготавливаемая карбюратором, более гомогенна и имеет все-таки более низкую температуру, чем при обычном смесеобразовании. Максимальный выход окислов азота при вихревом смесеобразовании и экономическом составе смеси при  $\alpha \approx 1,1-1,2$  и выше, чем при обычном смесеобразовании. Это можно объяснить тем, что улучшение гомогенизации смеси приводит к снижению скорости сгорания, а так как температура продуктов сгорания еще достаточно высока, то в камере сгорания, за фронтом пламени, создаются благоприятные условия для образования окислов азота, т.е. продукты сгорания находятся в зоне повышенных температур больший период времени. При работе двигателя на смесях беднее экономических, когда продолжительность процесса сгорания увеличивается, а температура продуктов сгорания быстро падает, образование окислов азота заметно уменьшается.



Р и с. 2. Регулировочные характеристики состава смеси двигателя ГАЗ-24 при двух способах смесеобразования (полное открытие дроссельной заслонки  $\eta = 2400 \text{ об/мин}$ )

1- $\alpha$ ; 2- $N_2O_5$ ; 3- $g_e$ ; 4- $CO$ ;  
5- $CO_2$ ; 6- $CO$ ;  $\circ$ —VK 1-4,  
—+—K-126Г

и составляет 0,19 кг/л.с. час, а при обычном смесеобразовании — при  $\alpha = 1,15$  и составляет 0,205 кг/л.с. час.

### Л и т е р а т у р а

1. З в о н о в В.А. Токсичность двигателей внутреннего сгорания. М., "Машиностроение", 1973.

2. М е р к у л о в А.П., С т е н г а ч С.Д. Карбюратор для

Снижение концентрации CO и CH и увеличение содержания  $CO_2$  в продуктах сгорания во всем диапазоне исследуемого  $\alpha$  свидетельствует об увеличении полноты сгорания топлива при вихревом смесеобразовании. Если при обычном смесеобразовании полнота сгорания топлива, определяемая по результатам газового анализа для  $\alpha = 1$ , составляет примерно 92%, то при вихревом смесеобразовании она достигает примерно 97%.

Увеличение полноты сгорания топлива и улучшение идентичности работы цилиндров двигателя приводит к тому, что экономичность работы двигателя по удельному расходу топлива примерно на 9% выше по всей характеристике  $\alpha$  при вихревом смесеобразовании. Минимальный удельный расход топлива имеет место при  $\alpha = 1,2$

двигателя внутреннего сгорания. А.с. № 24549I, бюллетень № I9, 1969.

3. Варшавский И.Л., Малов Р.В. Как обезвредить отработавшие газы автомобиля. М., "Транспорт", 1968.

4. Зельдович Я.Б., Садовников П.Я., Франк-Каменецкий Д.А. Окисление азота при горении. Изд-во АН СССР, 1947.

5. Стенгач С.Д. Исследование вихревого карбюраторного смесеобразования двигателей внутреннего сгорания. - В кн. "Некоторые вопросы исследования вихревого эффекта и его промышленного применения." Труды первой научно-технической конференции. КуАИ, 1974.

А.Н. Пискунов, А.П. Меркулов, С.Д. Стенгач, А.М. Казанцев

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВИХРЕВОГО МЕТОДА СМЕСЕОБРАЗОВАНИЯ НА ТРЕБОВАНИЯ ДВИГАТЕЛЯ К ОКТАНОВОМУ ЧИСЛУ ТОПЛИВА

Особенности рабочего процесса современных карбюраторных ДВС в большей мере определяются достигнутыми высокими значениями степеней сжатия, литровой мощности и чисел оборотов. Несмотря на высокий достигнутый уровень всех этих показателей, рост их незамедлится, что позволяет предположить дальнейшее увеличение этих показателей. Один из показателей - степень сжатия однозначно связан с детонационной стойкостью топлива. Вопрос детонационной стойкости топлива решается повышением их октанового числа. Однако до настоящего времени еще не исчерпаны возможности увеличения степени сжатия двигателя без заметного увеличения октановых чисел топлива.

В данной работе приводятся результаты исследования на двигателе ГАЗ-24Д с двумя карбюраторами К-126Г и ВК-1-4, в ходе которых рассматривается вопрос влияния процесса смесеобразования, равномерности распределения топлива по цилиндрам на требования к октановому числу топлив. Детонационное сгорание в двигателях является препятствием на пути создания высокоэкономичных двигателей.

Существует несколько теорий, объясняющих возникновение детонационного горения в двигателях. Наиболее полное представление