

ДВА, ЧЕТЫРЕ, ПЯТЬ, ШЕСТЬ...

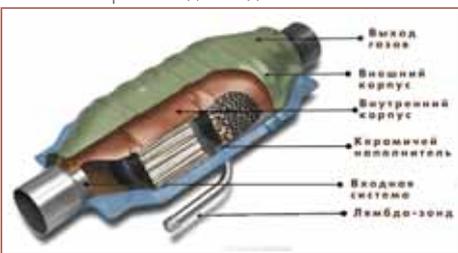
Считаем такты вместе

АВТОМОБИЛЬНЫЙ
ДВИГАТЕЛЬ ВЫСОКОЙ
ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЧИСТОТЫ

Юрий Васильевич Макаров, НИУ МАИ

В сентябре 2015 г. немецкий концерн "Фольксваген" оказался в центре внимания международных исследований, которые установили, что выхлопные газы дизельных двигателей западноевропейских автомобилей почти в 40 раз превышают установленную в США норму содержания окислов азота и окислов углерода. В итоге, концерну пришлось отозвать 11 млн. автомобилей, работающих на дизтопливе. Последовали новые экологические требования, значительно усложняющие систему очистки выхлопных газов дизелей, повышающие их стоимость. При этом производство их может оказаться нерентабельным.

Надо сказать, что и современные бензиновые автомобильные двигатели, у которых имеется классический глушитель для снижения уровня звука выхлопных газов, укомплектованы сложной и дорогой системой повышения экологической чистоты выхлопа, содержащей каталитический нейтрализатор и лямбда-зонд. Каталитический нейтрализатор - это керамический цилиндр (диаметром около 100 мм и длиной 120 - 130 мм), по продольной оси которого выполнены сквозные каналы диаметром 1,5 - 2 мм. Что делает керамический цилиндр проницаемым для выхлопных газов.



Каталитический нейтрализатор

На внутреннюю поверхность продольных каналов каталитического нейтрализатора напылены редкоземельные металлы, слои платины и радия. Впрочем, сейчас бывают и безметаллические каталитические нейтрализаторы. Окислы азота, углеводороды и окислы углерода, проходя по каналам катализатора нейтрализуются, что снижает токсичность выхлопа до нормальных значений (на 90%).

Но здесь возникает одна проблема. Каталитический нейтрализатор нормально работает только на бедных (при избытке воздуха) или нормальных рабочих смесях (одна весовая часть бензина на 14,7 весовых частей воздуха). При богатых рабочих смесях (избыток бензина) температура керамического корпуса повышается, напыление каталитического слоя разрушается, и нейтрализатор выходит из строя.

Карбюратор бензинового мотора с такой регулировкой качества рабочей смеси на всех режимах работы не справляется. Необходим непосредственный впрыск бензина в рабочий цилиндр с помощью инжектора - электромагнитной форсунки, работу которой через микропроцессор контролирует лямбда-зонд (кислородный датчик) установленный в глушителе, чтобы автоматически обеспечивать заданное качество рабочей смеси. Кроме того он сообщает компьютеру о работе нейтрализатора.

Каталитический нейтрализатор, даже при эксплуатации автомобиля на качественном бензине, служит 1,5 - 2 года, затем его следует менять (что обойдётся вам в \$ 150...200. Гарантированный пробег катализатора 80 000 км, но чистота и качество бензина, а особенно случайно неработающая свеча, могут значительно сократить указанный километраж.

Каталитический нейтрализатор при низких температурах начинает работать через 30 - 40 мин., пока прогреется до 450°C.

Итак, мы имеем ряд устройств, предназначенных для получения высококачественных выхлопных газов, но не пытаемся оптимизировать сам рабочий процесс в цилиндрах автомобильного двигателя. Существующая система снижения токсичности выхлопных газов имеет микропроцессор на системе впуска в цилиндры, электромагнитные форсунки, устройство рециркуляции выхлопных газов, подогрев катализатора с теплоизоляцией, резонатор и наконец, глушитель - в виде солидной выхлопной трубы из нержавеющей стали. Вся эта система на автомобиле среднего класса весит не менее полсотни килограмм, при цене \$500...1200.

Так случилось потому, что в 1965 г. американцы приняли программу по ограничению токсичности выхлопных газов автотранспорта, признав

Экологический стандарт	Оксид углерода (II) (CO)	Углеводород	Летучие органические вещества	Оксид азота (NO _x)	HC+NO _x	Вспомогательные частицы (PM)
Для дизельного двигателя						
Евро-1	2,72 (3,16)	-	-	-	0,97 (1,13)	0,14 (0,18)
Евро-2	1,0	-	-	-	0,7	0,08
Евро-3	0,64	-	-	0,50	0,56	0,05
Евро-4	0,50	-	-	0,25	0,30	0,025
Евро-5	0,500	-	-	0,180	0,230	0,005
Евро-6	0,500	-	-	0,080	0,170	0,005
Для бензинового двигателя						
Евро-1	2,72 (3,16)	-	-	-	0,97 (1,13)	-
Евро-2	2,2	-	-	-	0,5	-
Евро-3	2,3	0,20	-	0,15	-	-
Евро-4	1,8	0,10	-	0,08	-	-
Евро-5	1,000	0,100	0,068	0,060	-	0,005**
Евро-6	1,000	0,100	0,068	0,060	-	0,005**

лучшими для решения этой программы каталитические нейтрализаторы.

В Европе в ту пору шли дебаты по этой проблеме, высказывалась критика в адрес не оптимальных, прямолинейных и очень дорогих решений американцев. Высказывались более рациональные выходы из положения - например, двигатели, работающие на бедных смесях, применение природного газа, впрыск воды в рабочий цилиндр...

Уйдя далеко вперед, американцы, по сути, навязали свой путь и другим странам. Это - тупиковый путь научно-технического прогресса. А для США это не только открытые инновации, нанотехнологии, но и замечательный старт-ап по-американски. Дорожная карта которого охватывает всемирные периферии. И нас к тому подтянули.

Но для США - это решенная проблема. Законодатели ужесточают нормы токсичности. Поэтапно были введены нормы Евро-1, Евро-2, Евро-3, Евро-4 и даже Калифорнийский стандарт.

На рынке возникает стабильный спрос на новую продукцию. Правительство выдает субсидии в 25 млрд. долларов, расширяется производство, создаются рабочие места. Рабочие получают зарплату и платят налоги. Деньги возвращаются, а промышленники получают прибыль. Короче - нормальные рыночные отношения в государстве со стабильной экономикой.

Поэтому с первого января 2016 г. разрешена эксплуатации только тех автомобилей, токсичность выхлопных газов которых соответствует нормам Евро-5. На всех остальных автомобилях будет необходимо поменять двигатель или систему нейтрализации выхлопных газов.

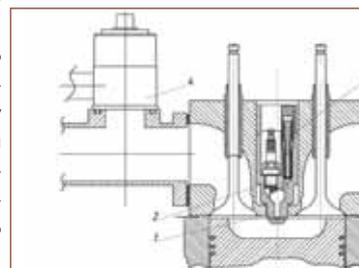
Конечно, иногда для повышения мощности автомобильного мотора применяют турбонаддув, частично использующий энергию выхлопа. Автомобильные дилеры такой мотор с гордостью называют "турбированный" двигатель.

Но турбонагнетатель создаёт незначительный положительный эффект, да и то, в основном, он относится к рекламе и получению прибыли.

Однако, неэффективность и сомнительную полезность заокеанских технологий охраны окружающей среды легко доказать.

Автору пришлось участвовать в исследовании экологической чистоты выхлопных газов на моторном стенде "Авиэль" в 45-м НИИ МО. И вот что оказалось, когда двигатель переводили на бедную рабочую смесь ($\lambda = 1,2 - 1,35$), окислы углерода, углеводороды и окислы азота (CO_x ; CH ; NO_x) снижаются практически до нуля и на ленте осциллографа их показатели имеют прямую линию, потому что избыток воздуха в рабочей смеси нейтрализует окислы получше, чем каталитический нейтрализатор. И это было хорошо известно до американского "броска на защиту окружающей среды от токсичных выхлопных газов" постоянно растущего парка автомобилей.

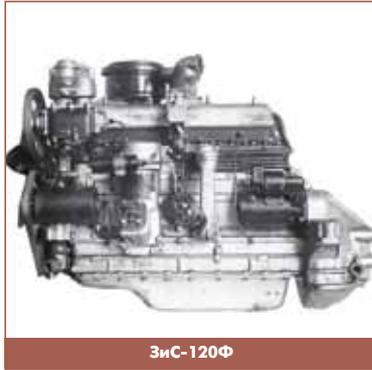
Ещё в начале 50-х гг. профессор



Газовый двигатель с форкамерно-факельным зажиганием 1 - форкамера; 2 - свеча зажигания; 3 - газовый клапан; 4 - газовый смеситель



ГАЗ-51Ф



ЗИС-120Ф

Д.А. Гусак в ИФКАН исследовал возможность применения в автомобильных моторах сильно обеднённых рабочих смесей (с коэффициентом избытка воздуха до 1,15 - 1,2).

Это обеспечило исключительную полноту сгорания топлива, практически отсутствие токсичных компонентов и значительную экономию топлива. На основе этих работ промышленность выпускала серийный двигатель ГАЗ-51ф с форкамерно-факельным процессом горения, который экономил 15% топлива и давал чистый выхлоп. Автобусы с таким мотором долгое время работали в Сочи.

В 1955 г. на базе другого серийного мотора, ЗИС-120, был создан двигатель ЗИС-120ф, работающий по форкамерному циклу на бедных смесях. Он давал экологически чистый выхлоп и экономил до 34 % топлива. Причём чистый выхлоп этих двигателей отвечал бы нормам Euro 3 (приняты в 1996 г.) и даже требованиям С (Калифорнийский стандарт).

Надо сказать, что уже разработаны экономичные автомобильные двигатели высокой экологической чистоты без применения каталитических нейтрализаторов. Рассмотрим три таких двигателя, которые доказывают существенное отставание автопрома от ресурсосберегающих, экономических и экологических требований сегодняшнего дня.

В этих двигателях не улучшают с большими финансовыми затратами качество выхлопных газов, а утилизируют значительную часть их энергии, которая составляет до 20 % от энергии сгоревшего топлива в цилиндре.



Первый пятитактный двигатель Drive-2

Здесь следует напомнить, что выхлопные газы автомобильных двигателей за выхлопным клапаном имеют очень высокие параметры. Их температура более 1300° С, а давление на выхлопе из них 9 - 11 атмосфер.

Высокоэкономичный автомобильный двигатель был изобретён Г. Шмитцем в конце XX века. И только в 2009 г. британская компания Ilmor Engineering представила на выставке Engine EXPO 2009... пятитактный двигатель новой конструкции. Будучи разработчиком и поставщиком двигателей для "формулы-1", Ilmor построила то, что многие считали абсурдом: пятитактный бензиновый мотор, компактный и намного эффективнее четырёхтактного. Причём, принцип его работы довольно прост.

Согласен с читателем, что двигатель с нечетным числом тактов - это немного странно. Сегодня хорошо известны не только двух или четырёх, но даже и шеститактные двигатели, у которых после такта "выхлоп" в цилиндры впрыскивается вода для создания пара. Что обеспечивает два дополнительных такта в каждом цилиндре двигателя.

Известно также применение рециркуляции выхлопных газов в цилиндры автомобильного двигателя для снижения максимальной температуры горения с целью снижения окислов азота и токсичности выхлопа.

При четырёхтактном процессе горячий расширяющийся газ выходит



Цикл работы шеститактного двигателя

из цилиндра в выхлопную трубу. Но ведь тем самым вся его энергия улетает в ту же трубу, что является чистой потерей энергии. Вместо этого, в пятитактном процессе все еще горячий газ (t - 1300°С и P - 10 атм.) сбрасывается в дополнительный цилиндр, толкая его вниз и создавая пятый рабочий такт, дающий коленвалу лишние 180 градусов вращения.

Опытный образец пятитактного мотора с турбонаддувом фирмы Ilmor с рабочим объёмом 700 см³ имеет мощность 130 л.с., что на 7 л.с. больше, чем у 1-литрового двигателя EcoBoost фирмы "Форд". При этом расход бензина на 1 л.с. у пятитактного мотора всего 165 г вместо 250 г у двигателя "Форд". Но самое главное, снижается токсичность выхлопных газов благодаря дожиганию топлива в цилиндре большого диаметра.

И вот ещё один пример автомобильного двигателя высокой экологической чистоты и топливной эффективности.

В 1962 г. в СССР под руководством В.М. Кушуля был спроектирован и были изготовлены несколько опытных образцов многотопливного четырёхцилиндрового и шестичилиндрового автомобильных двигателей с двумя параллельно действующими цилиндрами.

Рабочий процесс в двигателе Кушуля осуществляется в двух параллельных цилиндрах высокого и низкого сжатия, постоянно сообщающихся между собой с помощью канала в верхней части цилиндров, необходимое отставание в движении поршней высокого сжатия по отношению к поршням низкого сжатия обеспечивают коленвал и V-образные шатуны.

Поршень цилиндра высокого сжатия в верхней мёртвой точке подходит к головке цилиндра с минимальным зазором. Поэтому, в цилиндрах низкого давления конструктивная степень сжатия равна 7, а суммарная степень сжатия в двух сообщающихся цилиндрах - 11,7.

Общий канал, соединяющий цилиндры, имеет тангенциальное направление по отношению к окружности камеры сгорания первого цилиндра, что обеспечивает вихревое движение газов в процессе горения в цилиндрах. Причём топливо подаётся только в цилиндр низкого сжатия через карбюратор или инжектор. Благодаря совместной работе пары цилиндров мощность двигателя увеличивается в два раза, а работа его на бедных рабочих смесях снижает токсичность выхлопных газов.

Двигатель Кушуля имеет простую конструкцию и высокую надёжность в работе. На испытательном стенде при исследовании параметров выхлопных газов двигатель непрерывно отработал 150 часов. Все испытания проводились в соответствии с требованиями ГОСТ 491-55.

Наименьший достигнутый удельный расход топлива при испытаниях составлял всего 183 г/л.с. в час, причём для карбюраторного двигателя.

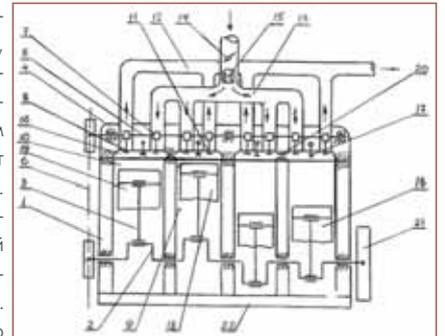
Для опытной эксплуатации двигатель был установлен на автомобиль "Волга". За короткое время машина прошла более 30 000 км без замечаний и дефектов.

Двигатель Кушуля экспонировался на ВДНХ СССР. Для посетителей он был интересен тем, что выхлоп двигателя был открытым, но выхлопные газы были незаметны ни по цвету, ни по запаху. Благодаря полному сгоранию топлива и минимальной токсичности выхлопных газов, кратковременный запуск двигателя в демонстрационном помещении был разрешён.

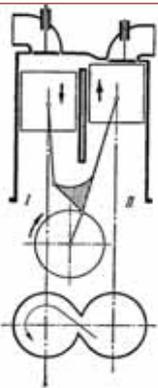
Новый двигатель имел малый вес и небольшие габариты.



1-литровый двигатель Ford EcoBoost



ДВС с сообщающимися цилиндрами
1 - корпус двигателя, 2 - коленчатый вал двигателя, 3 - шатун поршня, 4 - подшипники распределительного вала, 5 - распределительный вал, 6 - внешняя ременная передача, 7 - кулачок клапана распред. вала, 8 - выхлопной клапан первого цилиндра, 9 - цилиндр, 10 - камера над поршнем, 11 - выхлопной клапан второго цилиндра, 12 - выходной коллектор, 13 - входной коллектор, 14 - входной дроссель, 15 - входной жиклёр, 16 - головка блока цилиндров, 17 - свеча зажигания, 18 - второй поршень группы, 19 - первый поршень группы, 20 - канал меж цилиндрами, 21 - маховик, 22 - поддон картера.



Принципиальная схема двигателя В.М. Кушуля

Он был безразличен к октановому числу топлива, а при замене топливной аппаратуры мог работать на бензине или дизтопливе.

Эти результаты были подтверждены на испытаниях двигателя Кушуля в Англии в г. Cranfield фирмой "The Cranfield Kushul Engine Combust".

Но, несмотря на явные преимущества новых двигателей монополизму мирового автопрома не нужны инновации и венчурные проекты, снижающие прибыль, число рабочих мест и рыночную стоимость продукции.

Кроме двигателя Кушуля, в СССР в Московском авиационном институте в 1985 г. был разработан двигатель внутреннего сгорания, который предшествовал концептуальному пятитактному двигателю Г. Шнитца.

Двигатель был разработан на базе серийного мотора ВА3-2108. На устройство нового двигателя было получено авторское свидетельство на изобретение № 1494625, 1986 г.

Блок цилиндров нового мотора отличался от серийного только тем, что два его внутренних цилиндра имели уменьшенный диаметр, поэтому и меньший рабочий объём (по 190 см³ каждый). Это достигалось запрессовкой цилиндрических гильз в два средних цилиндра серийного мотора и установкой в эти цилиндры поршней нужного диаметра.

А два боковых цилиндра двигателя сохранили серийные параметры, поэтому они имели больший диаметр и больший рабочий объём (по 325 см³) по сравнению со средними цилиндрами мотора.

Головка блока цилиндров нового мотора имела по три клапана на каждый цилиндр, причём два его средних цилиндра - малого диаметра, работают по нормальному четырёхтактному циклу. Всасывание обогащённой рабочей смеси в эти цилиндры происходит от карбюратора

через всасывающий клапан.

А в боковые цилиндры большого диаметра в этом моторе через всасывающий клапан поступает чистый воздух, который в конце сжатия рабочей смеси в дальнем малом цилиндре нагнетается в него через клапан и соединяющий их патрубок. После чего богатая рабочая смесь в малом цилиндре избытком нагнетаемого воздуха доводится до нормальной и даже обедненной ($x = 1,1 - 1,2$). И в малом (рабочем) цилиндре происходит воспламенение рабочей смеси и рабочий ход. Здесь цилиндр большого диаметра является объёмным нагнетателем с коэффициентом избытка воздуха 2,2 - 2,6. Это повышает максимальное рабочее давление в цилиндре и энергию рабочего процесса, в конце которого выхлоп из малого рабочего цилиндра производится через выхлопной клапан в соседний цилиндр большого диаметра. При этом выхлопные газы имеют высокие параметры: температуру 1350°C и давление выше 12 атм.

В процессе до расширения выхлопных газов в цилиндре большого диаметра они отдают свою энергию на коленвал и увеличивают мощность двигателя. Также как это происходит в английском моторе Ilmor.

В цилиндре большого диаметра происходит дожигание выхлопных газов, что снижает их токсичность за счёт доокисления окислов углерода и азота. Это достигается

благодаря избытку воздуха в обеднённой рабочей смеси ($L = 1,2$). Поэтому после открытия выхлопного клапана из вспомогательного цилиндра выхлопные газы, снизившие температуру, и при давлении ниже 1,85 атм удаляются в выхлопную трубу без глушителя.

Из аэродинамики известно, что при давлении газов в замкнутом цилиндре ниже 1,89 атм выхлоп газов из него происходит бесшумно. Аналогично тихому выхлопу пара у паровоза.

Данный двигатель имел низкий расход топлива и экологически чистый выхлоп, превышающий требования ЕВРО-5. Его выхлопная система не требует каталитического нейтрализатора, лямбда-зонда и даже... глушителя. Лёгкий выхлопной коллектор на два цилиндра выполнен из алюминиевого сплава и соединён с полиэтиленовой (!) выхлопной трубой. Отсутствие тяжёлого коллектора, резонатора, глушителя и стальной выхлопной трубы снижает вес выхлопной системы на 31 кг.

Двигатель имеет всего две свечи и два инжектора только в активных цилиндрах. Или один карбюратор на два цилиндра, т.к. двигатель не имеет каталитического нейтрализатора, а следовательно, и непосредственного впрыска топлива в цилиндры, что позволяет использовать традиционный карбюратор и упрощает систему питания двигателя.

Разработанный в МАИ двигатель был удостоен золотой медали на международном салоне изобретений "Брюссель Эврика" в 1996 г. и серебряной медали на 25 Международном салоне изобретений в Женеве в 1997 г.

В 2006 г. в Московском авиационном институте был разработан усовершенствованный вариант четырёхцилиндрового автомобильного двигателя на базе серийного, работающего по тому же принципу.

Четырёхцилиндровый двигатель с V-образным расположением пары цилиндров активного - малого диаметра и вспомогательного большого диаметра имел два V-образных шатуна и укороченный коленвал с двумя шатунными шейками и тремя коренными шейками, что почти в два раза снижало размеры и вес двигателя. Кроме того, это минимизировало общую поверхность трения скольжения, следовательно - затрату мощности на его преодоление и расход масла.

В 2006 г. был получен патент РФ № 2327048 на изобретение этого лёгкого, экономичного и мощного автомобильного мотора с высоким ресурсосберегающим эффектом и экологическим потенциалом (превышающим ЕВРО-6).

Эффективная система смазки двигателя с его малой термической нагрузкой (всего лишь от двух активных цилиндров) позволяет упростить систему охлаждения двигателя и использовать систему смазки для охлаждения мотора.

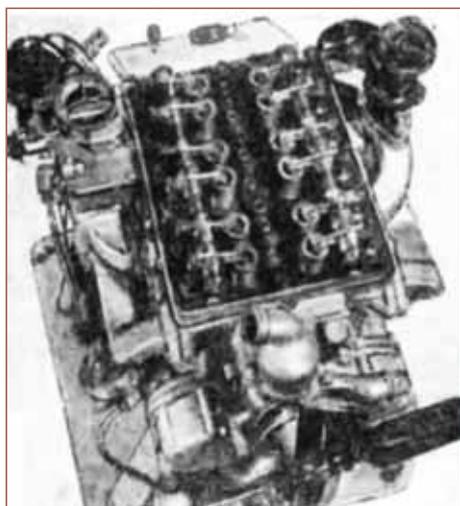
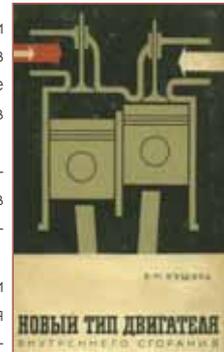
Новому двигателю не нужны байпасная система с термостатом, расширительный бачок, насос охлаждающей жидкости, а фронт радиатора системы охлаждения мотора (маслорадиатора) по площади сокращается в два раза.

Конечно, производство новых двигателей будет экономически эффективно, оно обеспечит повышение экологической чистоты автотранспорта, экономию топлива и сбережение материальных ресурсов.

Но этому препятствуют особенности капиталистической экономики, монополизм международного автопрома, который контролирует мировой рынок (вспомним конфликт с "Фольксвагеном" и европейскими дизельными автомобилями). Он не будет рисковать затратами на освоение нового типа двигателей, особенно связанных с потерей рабочих мест и не расширяющих рынок их продукции.

Капиталистической экономике новый тип двигателей не нужен. Выгоднее производство наночистот, нейтрализаторов, поэтапное внедрение ЕВРО-7, 8 и т.д., гибридных автомобилей, электромобилей и автомобилей без водителя. Когда с расширением рынка и созданием новых рабочих мест всё в порядке. А катастрофическое уничтожение нефтепродуктов и расход материальных ресурсов - это прибыль и проблемы экологов.

Однако проблему создания простейшего варианта нового типа двигателей может осуществить небольшое серийное производство типа технопарка, которое будет под заказ выпускать новые головки блока цилиндров с газораспределительным механизмом на любой серийный двигатель фирменного автомобиля российского производства.



ДВС профессора Кушуля



Патент В.М. Кушуля