

# Дизельный ликбез

## СПОР ЗА МЕСТО ПОД КАПОТОМ

СЕРГЕЙ САМОХИН

**Организация рабочего процесса в дизельном и бензиновом двигателях имеет ряд принципиальных отличий. Некоторые из них дают дизелям «фору» перед бензиновыми конкурентами, другие — напротив, оборачиваются недостатками. Являются ли преимущества дизельных двигателей бесспорными и решающими в борьбе за место под капотом автомобилей?**

Отличия в характеристиках дизельных и бензиновых двигателей проистекают из особенностей организации рабочего процесса. Припомним, как протекает «процесс» в моторах обоих типов и какие это имеет последствия.

### Даймлер против Дизеля

В бензиновом двигателе основная фаза формирования топливовоздушной смеси происходит вне цилиндра, во впускной системе (пока оставим в стороне бензиновые моторы с непосредственным впрыском топлива). Именно поэтому их относят к ДВС с внешним смесеобразованием. Процесс перемешивания паров топлива с воздухом окончательно завершается в конце такта сжатия. К этому моменту в камере сгорания образуется так называемая гомогенная топливная смесь, характеризующаяся достаточно равномерным распределением концентрации топлива по объему. В результате сжатия ее температура достигает 400–500 °С, что достаточно для активизации предпламенных реакций, но ниже температуры самовоспламенения бензина. Искра свечи зажигания вызывает мгновенное воспламенение смеси.

Подобная организация рабочего процесса накладывает ряд принципиальных ограничений, сужающих возможности двигателей с искровым зажиганием. Первое из них связано с физическими характеристиками используемого топлива. Оно, помимо прочего, должно обладать высокой испаряемостью при умеренных температурах, характерных для впускной системы двигателя. В противном случае получить гомогенную топливовоздушную смесь к моменту ее зажигания не удастся, как не удастся обеспечить ее быстрое и полное сгорание. А это значит, что из перечня альтернативных топлив для искровых двигателей выпадает боль-

шая группа энергоносителей минерального и растительного происхождения.

Второе обусловлено тем, что рабочий цикл двигателя с внешним смесеобразованием включает этап сжатия топливной смеси. Это вносит очень строгое ограничение по допустимой степени сжатия ( $\epsilon$ ), параметру, который в большой степени определяет эффективность двигателя как тепловой машины. В искровых двигателях повышению степени сжатия препятствует опасность возникновения детонационного сгорания топливного заряда и появления преждевременных вспышек в цилиндре. Отодвинуть детонационный порог удастся увеличением октанового числа топлива, а также применением мер, способствующих сокращению времени распространения фронта пламени и снижению температуры топливного заряда. Среди них: разработка компактных камер сгорания с центральным расположением свечи зажигания, изготовление поршней и головки цилиндра из алюминиевых сплавов, использование системы рециркуляции отработавших газов и другие. В современных бензиновых моторах все указанные решения активно применяются. Несмотря на это, реально удастся достичь степени сжатия порядка 11. Похоже, что эта величина является «потолком» для топлив с разумными октановыми числами и резервов для повышения эффективности искровых двигателей в этом направлении нет.

Третье определяется свойствами самой гомогенной бензиновой смеси. Способность ее к воспламенению и нормальному сгоранию сохраняется в довольно узком диапазоне соотношения воздух/топливо, которое соответствует значениям коэффициента избытка воздуха  $0,8 < \lambda < 1,2$ . Это означает, что качество топливовоздушной смеси на всех режимах работы двигателя должно оставаться приблизительно постоянным. В этом случае для глубокого регулирования мощности двигателя, характерного для условий его применения на автомобиле, остается единственный способ — изменение количества поступающей в двигатель смеси. Обычно оно достигается дросселированием.

Во впускной тракт устанавливают дроссельную заслонку, с помощью которой управляют подачей в двигатель воздуха. В зависимости от текущего расхода воздуха система управления так дозирует топливо, чтобы качество смеси соответствовало режиму работы мотора, но не выходило из указанного диапазона изменения  $\lambda$ .

Горение топлива — это химическая реакция его быстрого окисления.

В ДВС в роли окислителя топлива выступает содержащийся в воздухе кислород. Законы химии позволяют теоретически рассчитать, сколько воздуха требуется для полного сгорания определенной порции данного вида топлива. Идеальное соотношение воздух/топливо называют стехиометрическим. Подсчитано, например, что для полного сгорания 1 кг бензина требуется столько кислорода, сколько его содержится в 14,7 кг воздуха. То есть, стехиометрическое соотношение для бензиновоздушной смеси равно 14,7/1.

В реальном двигателе состав смеси на различных режимах работы может отклоняться от теоретического оптимума. Степень отклонения определяется так называемым коэффициентом избытка воздуха, равным отношению реального состава смеси к идеальному. В зарубежных источниках он обозначается  $\lambda$ , в русскоязычной технической литературе —  $\alpha$ . При  $\lambda=1$  качество смеси соответствует теоретическому идеалу. Такая смесь отвечает наилучшему соотношению мощности, топливной экономичности и токсичности отработавших газов. В диапазоне  $\lambda < 1$  наблюдается дефицит воздуха («богатая» смесь). Работа на таких смесях позволяет «выжать» максимум мощности. Топливная смесь с избытком воздуха или «бедная» смесь ( $\lambda > 1$ ) соответствует лучшей экономичности.

Варьировать качество гомогенной смеси в искровых бензиновых моторах можно лишь в небольших пределах  $0,8 < \lambda < 1,2$ . Большее отклонение ее состава в ту или иную сторону приводит к ухудшению характеристик двигателя, падению мощности, повышению удельного расхода топлива и росту эмиссии токсичных компонентов. Более того, смесь теряет способность к воспламенению.

Существует альтернативный метод, заключающийся в изменении времени открытого состояния впускных клапанов. Он значительно сложнее с конструктивной точки зрения, а потому и применяется редко.

Способ количественного регулирования, надо сказать, не самый удачный с точки зрения влияния на эффективность работы мотора в режиме частичных нагрузок. Действительно, о какой эффективности может идти речь, когда двигатель намеренно «душат», причем делать это «черное дело» приходится большую часть времени?

Может сложиться ошибочное мнение, что работа на гомогенной топливной смеси грозит мотору одними неприятностями. Это не так. Равномерное перемешивание паров топлива и воздуха способствует более полному сгоранию смеси и, как следствие, снижению токсичности выхлопа. К тому же способ «внешнего» приготовления гомогенной смеси как нельзя лучше подходит для использования «легких» топлив, отличающихся повышенным содержанием летучих фракций.

### Дизель против Даймлера

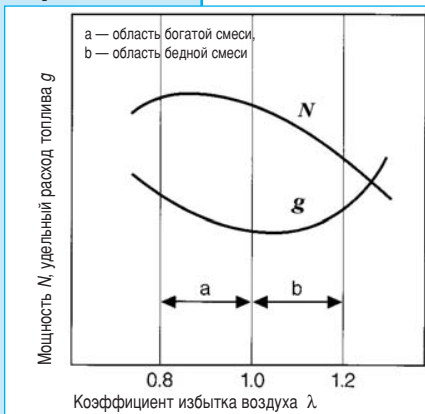
Иная организация рабочего процесса в дизельном двигателе позволила обойти отмеченные недостатки, изрядно портящие «репутацию» искровых ДВС с внешним смесеобразованием.

В цилиндре дизельного двигателя сжимается воздух. В результате сжатия до высокого давления (30–50 бар) температура воздуха повышается до 700–900 °С. Топливо подается непосредственно в камеру сгорания методом безвоздушного распыления незадолго до достижения поршнем ВМТ. Мельчайшие капли топлива практически мгновенно начинают испаряться с образованием топливовоздушной смеси. Время, отводимое на смесеобразование в дизелях, на порядок меньше, чем в искровых двигателях (оно обычно соответствует углу поворота коленчатого вала на 15–30°). К тому же дизельное топливо испаряется медленнее. Поэтому в камере сгорания образуется крайне неоднородная по составу, гетерогенная топливовоздушная смесь. В разных ее областях коэффициент избытка воздуха ( $\lambda$ ) может изменяться от нуля до бесконечности! Гетерогенность, однако, не мешает смеси самовоспламениться и сгорать с выделением внутренней энергии.

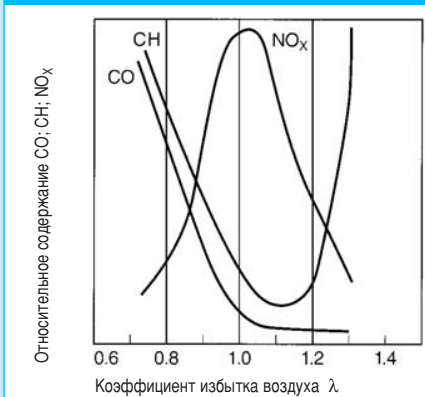
Таким образом, дизельный процесс исключает необходимость предварительного приготовления топливной смеси. Это устраняет специфические требования к испаряемости и расширяет спектр применяемых видов топлив прежде всего за счет «тяжелых» органических соединений. Появляется возможность использовать более тяжелые, относительно дешевые продукты нефтепереработки (керосин, лигроин, мазут), а также различные, пока экзотические, углеводороды растительного происхождения. Последние хороши тем, что относятся к возобновляемым источникам энергии. Их производство и последующее сжигание в автомобильных двигателях могут стать звеньями замкнутой экологической цепи.

В странах Евросоюза, например, действует программа «экодизель». В рамках этой программы такие фирмы, как Opel и VW, производят дизельные моторы, которые могут работать на смеси дизтоплива и рапсового масла. Существуют и автозаправочные станции, на которых такую смесь предлагают. «Зеленый» (в смысле — радующий за экологию планеты) автолюбитель может приобрести такой автомобиль и каждый день вносить личный вклад в экономию невозполняемых мировых запасов нефти и улучшение экологической обстановки. Аналогичная программа существует и в России. Она предусматривает использование в качестве дизельного топлива диметилового эфира, получаемого обработкой растительных и животных жиров метанолом. Перспективу «эфиризации» отечественных дизелей связывают не только с восполнимостью этого вида топлива, но и со снижением токсичности выхлопных газов.

«Многотопливность» — это одно из серьезных преимуществ дизельного двигателя. В принципе, он даже может «играть на поле соперника», то есть работать на бензинах. Правда, для этого в конструкцию мотора приходится вносить серьезные изменения, в частности корректировать степень сжатия. Дизель, работающий на бензине, — не фантастика. Известны конструкции армейских многотопливных моторов, в которых наряду с соляркой мог использоваться и одобренный особыми присадками бензин, правда, как исключительная мера и в ущерб ресурсу. Были попытки соз-



Зависимость мощности и удельного расхода топлива от коэффициента избытка воздуха.



Влияние качества смеси на эмиссию токсичных компонентов.



К смеси дизельного топлива и воздуха также применимы понятия стехиометрического соотношения и коэффициента избытка воздуха. Стехиометрическое соотношение для смеси дизтоплива и воздуха не намного отличается от аналогичного параметра для бензиновоздушной смеси и составляет 14,28/1. Топливная смесь в дизельных двигателях также имеет предел по воспламеняемости, который определяется значениями  $0,3 < \lambda < 1,5$ . Как же в таком случае происходит сгорание гетерогенной смеси, у которой  $0 < \lambda < \infty$ ? Теория, описывающая закономерности процессов самовоспламенения и распространения пламени в гетерогенных смесях, — штука невероятно сложная. Постичь ее без «этого дела» невозможно, поэтому попробуем разобраться «на пальцах».

Топливо впрыскивается в камеру сгорания в виде факела, сформированного из мельчайших капель. В результате трения о горячий воздух капли разогреваются и начинается процесс испарения топлива с их поверхности. Если рассматривать каждую каплю отдельно от других и смело пренебречь сотней факторов, имеющих место в реальных условиях, то легко понять, что непосредственно на поверхности капли концентрация паров топлива будет максимальной. Более того, в этой зоне ни о какой смеси и говорить не приходится, поскольку здесь присутствуют лишь пары топлива, что соответствует  $\lambda = 0$ . По мере удаления от капли концентрация паров топлива плавно уменьшается в квадратичной зависимости от рас-

стояния и в периферийной области, где присутствует один воздух, падает до нуля. Поскольку концентрация паров изменяется плавно, на некотором удалении от испаряющейся капли всегда присутствует область смеси (в виде сферического слоя), в которой коэффициент избытка воздуха соответствует условию воспламеняемости. Здесь-то и происходит самовоспламенение.

Таким образом, в дизельном процессе начало впрыска топлива и момент его самовоспламенения отстоят друг от друга на время, необходимое для нагрева и создания оболочки паров топлива вокруг капель. Его величина, называемая периодом задержки воспламенения, оказывает существенное влияние на процесс сгорания топливного заряда и характер работы дизельного мотора. Увеличение периода задержки приводит к тому, что к моменту воспламенения в камеру сгорания уже попадает большая часть топливного заряда. Его сгорание приводит к чрезмерно резкому нарастанию давления, что проявляется в «жесткой» работе мотора.

После возникновения очагов пламени горение развивается лавинообразно. Выделяющаяся энергия ускоряет процесс испарения топлива, а он, в свою очередь, дает пищу пламени. Главное, что нужно понять, — процесс смесеобразования в дизеле не завершается к началу воспламенения заряда, а непрерывно продолжается во время его сгорания.

дать подобный двигатель и для гражданских нужд, но большим успехом они не увенчались.

То, что в цилиндрах двигателей «имени Дизеля» происходит сжатие воздуха, дает дизельным моторам еще один, очень существенный козырь. Тем самым устраняется опасность возникновения детонации и снимается связанное с ним ограничение по допустимой степени сжатия. Более того, одна из особенностей дизельного процесса заключается в том, что он требует высокой степени сжатия. Ведь для того чтобы обеспечить устойчивый «поджиг» топливного заряда, температура воздуха в камере сгорания в конце такта сжатия должна быть как минимум на 200–300 °C выше температуры самовоспламенения дизельного топлива (она составляет около 250 °C). Это достигается повышением давления в конце такта сжатия. Поэтому диапазон степеней сжатия для дизелей смещен в область более высоких значений. В зависимости от конструктивных особенностей мотора степень сжатия может быть в пределах  $13 < \epsilon < 25$ . Меньшие значения характерны для дизелей с наддувом и неразделенными камерами сгорания, большие — для атмосферных дизелей с разделенными камерами.

Таким образом, диапазон степеней сжатия 11–13 является своеобразной границей, строго разделяющей «царства» бензиновых и дизельных моторов. Почему ее не в силах пересечь искровые ДВС, мы уже выяснили. Для дизелей ограничение степени сжатия «снизу» вызвано трудностью обеспечения устойчивого пуска мотора при низких температурах. Верхний предел обусловлен прочностными соображениями. Дело в том, что увеличение степени сжатия имеет прямым следствием повышение максимального да-

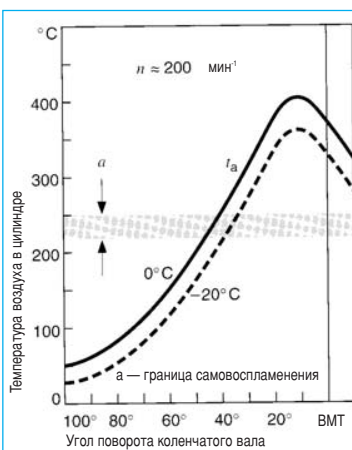


**Изменение коэффициента избытка воздуха при испарении капли топлива.**

вления цикла, то есть предельного давления, создаваемого в камере сгорания. Давление лимитируется нагрузкой на детали двигателя, при которой они обладают достаточным ресурсом. Поэтому приходится ограничивать степень сжатия неким разумным уровнем.

То, что дизельный процесс характеризуется высоким максимальным давлением в камере сгорания, отражается на конструктивном облике и некоторых выходных характеристиках двигателей с воспламенением от сжатия. Чтобы сохранять работоспособность в условиях больших нагрузок, детали кривошипно-шатунного и газораспределительного механизмов дизельного двигателя изготавливаются более прочными, массивными, соответственно, более инерционными. Это обуславливает меньшую частоту вращения дизельных моторов и худшую приемистость, то есть способность быстро набирать обороты. С другой стороны, высокое давление, действующее на поршень, приводит к увеличению крутящего момента в широком диапазоне частот вращения коленчатого вала. Поэтому дизель отличается тяговитостью и эластичностью в широком диапазоне частот вращения коленчатого вала.

То, что повышение степени сжатия — благо для двигателя, понимал создатель дизелей, изучивший труды Карно. Действительно, это один из действенных способов увеличения эффективного КПД мотора ( $\eta_e$ ), отвечающего за экономичность и, в конечном счете, определяющего удельный расход топлива. Вследствие больших степеней сжатия эффективный КПД дизельных двигателей на 10–12% выше, чем у бензиновых конкурентов (0,27–0,42 против 0,22–0,3). В этом нет ничего удивительного. Удивительно то, что при этом по топливной экономичности дизельные двигатели превосходят бензиновые процентов эдак на 40! За счет чего?



**С понижением окружающей температуры температура воздуха в конце такта сжатия падает. Для устойчивого пуска «холодного» дизеля она должна быть на 200–300 °C выше нижней границы самовоспламенения дизельного топлива.**

Причина в еще одном, пожалуй, наиболее важном отличии дизельного процесса, которое часто упускают из виду, — в способе регулирования. Работа на гетерогенной топливной смеси дает возможность применять метод качественного регулирования выходной мощности двигателя. Он характеризуется тем, что количество поступающего в двигатель воздуха практически не изменяется (в дизелях без наддува). Мощность регулируется только изменением подачи топлива. В результате меняется интегральное качество топливной смеси (усредненный по объему коэффициент избытка воздуха  $\lambda$ ). В дизельных двигателях он может варьироваться в широких пределах — от 1,1–1,2 в режиме максимальной нагрузки до 15–20 и даже более на холостом ходу. Выражаясь образно, можно сказать, что в режиме холостого хода дизель работает практически «на одном воздухе». Заметьте, что во всех случаях смесь остается бедной.

Чтобы понять, как в дизельном двигателе удастся сжигать бедные смеси, нужно еще раз припомнить, как протекает процесс смесеобразования. Как бы мало топлива ни было распылено в камере сгорания, именно в силу неоднородности концентрации паров топлива всегда сохраняется способность к локальному воспламенению и последующему сгоранию всего топливного заряда. Поэтому дизельный процесс свободен от ограничений для работы на бедных и сверхбедных смесях.

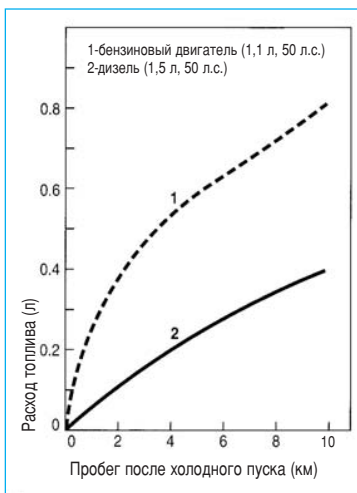
Эффективный КПД моторов сравнивают в режиме максимальной нагрузки. При этом лидерство дизелей выглядит довольно скромным. В действительности двигатель городского автомобиля большую часть времени (до 90%) работает в режиме частичной нагрузки, выдавая едва ли пятую часть максимальной мощности. В таких условиях в полной мере проявляются преимущества качественного регулирования. В то время как бензиновому мотору постоянно перекрывают «дыхание» дроссельной заслонкой, искусственно сокращая наполняемость цилиндров (за которую истово борются разработчики), дизель всегда «дышит» свободно, расходуя топливо существенно экономнее.

Чтобы лучше понять, почему увеличение степени сжатия способствует повышению экономичности ДВС, рассмотрим теоретический цикл дизельного двигателя. Реальные процессы, протекающие в дизельном моторе, наиболее близко соответствуют так называемому смешанному циклу. В нем подвод тепла к предварительно сжатому рабочему телу протекает в два этапа. Первый происходит при постоянном объеме, второй — при постоянном давлении.

Эффективность цикла (термический КПД) определяется его работой, которая соответствует площади, ограниченной кривыми на P-V-диаграмме. Видно, что повышение степени сжатия ( $\epsilon = V_a/V_c$ ) «при прочих равных» приводит к увеличению площади. Другое следствие увеличения степени сжатия — рост максимального давления цикла ( $P_z$ ). Это, в свою очередь, объясняет причину более высокого крутящего момента дизелей. Крутящий момент четырехтактного двигателя определяется соотношением

$$M = P_e \cdot V_h / 4\pi,$$

где  $V_h$  — рабочий объем двигателя, а  $P_e$  — среднее эффективное давление

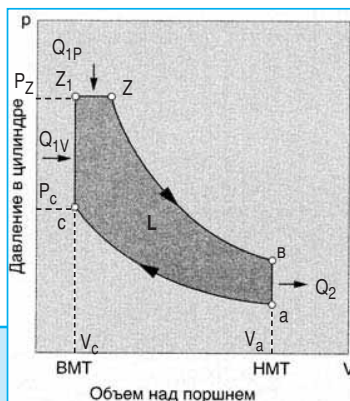


**В городских условиях, характеризующихся частыми холодными пусками и небольшими пробегами в режиме частичной нагрузки, дизельный двигатель при равной номинальной мощности расходует значительно меньше топлива, чем бензиновый мотор.**

Гетерогенность топливной смеси — «палка о двух концах». В том смысле, что она одновременно служит дизелям и недобрую службу. Речь идет о содержании вредных для окружающей среды компонентов в отработавших газах. Бытует мнение, что выхлопные газы дизельного двигателя менее токсичны. По всей вероятности, это представление сложилось в ту пору, когда единственными компонентами, содержание которых контролировалось, были монооксид углерода (CO) и несгоревшие углеводороды (CH). Действительно, концентрация этих веществ в «продуктах жизнедеятельности» дизеля ниже, чем у двигателей, работающих на бензине. Объясняется это тем, что дизельный процесс, как мы выяснили, протекает в условиях постоянного избытка воздуха. Это способствует более полному окислению указанных компонентов.

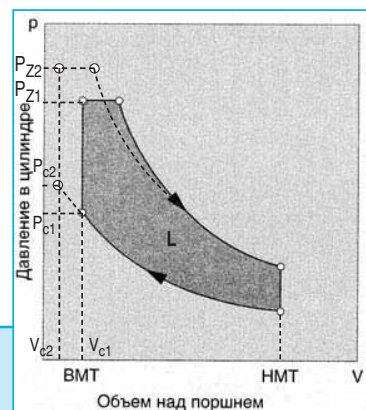
С другой стороны, работа на бедных смесях и более высокая температура в камере сгорания приводят к тому, что отработавшие газы дизельного двигателя содержат примерно вдвое больше чрезвычайно вредных оксидов азота (NOx). Их массовая доля в суммарном выбросе токсичных компонентов составляет от 30 до 80%. И это не все. Особенностью гетерогенных смесей является то, что при их сгорании всегда образуются так называемые твердые частицы. В основном они представляют собой свободный углерод в виде сажи. Токсичность частиц сажи определяется не углеродом, а адсорбированными на их поверхностях канцерогенными соединениями (полициклическими ароматическими

соединениями) (полициклическими ароматическими



$V_a$  — объем в начале сжатия  
 $V_c$  — объем в конце сжатия  
 $\epsilon = V_a/V_c$  — степень сжатия  
 $P_c$  — давление в конце сжатия  
 $P_z$  — максимальное давление цикла  
 $L$  — работа теоретического цикла

**Смешанный термодинамический цикл.**



**Видоизменение цикла при повышении степени сжатия.**

на поршень, которое возрастает с ростом  $P_z$ . В то время как  $P_e$  для дизелей легковых автомобилей с наддувом доходит до 22 бар, аналогичный параметр для искровых моторов обычно в полтора-два

раза меньше.

Еще одно полезное соотношение показывает, от чего зависит развиваемая двигателем мощность:

$$N = 2\pi \cdot n \cdot M$$

Несмотря на то что дизели имеют преимущество в крутящем моменте ( $M$ ), их литровая мощность (дизелей без наддува) ниже вследствие меньших частот вращения ( $n$ ).

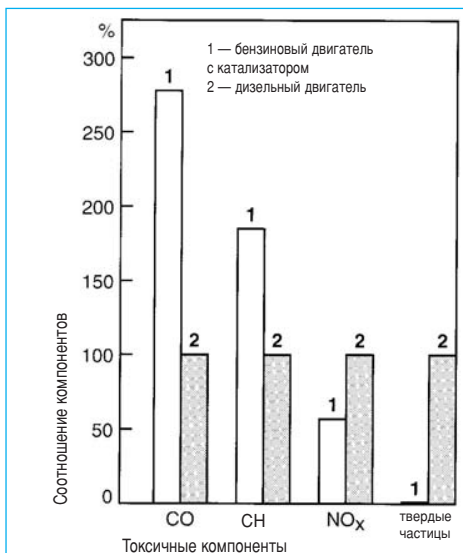
углеводородами). Помимо сажи в составе твердых частиц присутствуют несгоревшие частицы топлива и масла, соединения серы и оксиды металлов, добавляемых в топливо и масло в качестве присадок. Наличие этих неотъемлемых «прелестей» дизеля в отработавших газах визуально проявляется в виде дымности — снижения прозрачности выхлопа вплоть до появления черного дыма. Твердые частицы имеют мелкодисперсную структуру, легко переносятся в воздухе и способны изрядно подпортить атмосферу и наше здоровье. Хуже всего, что от них очень сложно избавиться.

Выхлоп бензинового двигателя, в принципе, можно сделать сколь угодно чистым. Для этого с успехом применяют как активные, так и пассивные методы. Активные заключаются в оптимизации рабочего процесса, пассивные — в использовании каталитических нейтрализаторов. Активные меры борьбы с дымностью выхлопа дизелей также применяются. Одна из таких мер — «нижнее» ограничение качества смеси значениями  $\lambda$  на уровне 1,1–1,2. Дальнейшее снижение избытка воздуха приводит к превышению допустимого уровня дымности. Кстати, из-за того что в режиме максимальных нагрузок дизель вынужден работать на обедненной смеси, да еще и с меньшей частотой вращения, его удельная мощность обычно ниже, чем у бензиновых моторов.

Что касается пассивных методов очистки отработавших газов, то тут у дизелей проблемы. Они возникают из-за присутствия в отработавших газах сажи. Она быстро (буквально в течение сотни километров пробега) выводит из строя любой нейтрализатор. В то же время создание эффективного и экономичного сажевого фильтра до сих пор остается нерешенной задачей. Так что тезис об экологическом превосходстве дизелей пока выглядит спорным.

Не бесспорно и распространенное мнение о более высоком ресурсе дизельных двигателей. С одной стороны, более прочная конструкция и меньшая частота вращения действительно должны способствовать меньшему износу. На эту же чашу весов можно также «положить» и применение в качестве топлива солярки, в меньшей степени смывающей масляную пленку со стенок цилиндров, чем бензин. С другой стороны, эти преимущества сводятся «на нет» высокой теплонапряженностью камеры сгорания и большими нагрузками, которые испытывают детали механизмов дизеля.

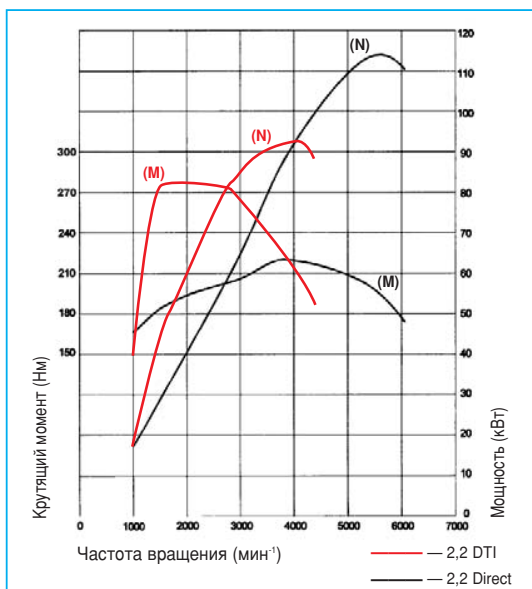
С другой стороны, эти преимущества сводятся «на нет» высокой теплонапряженностью камеры сгорания и большими нагрузками, которые испытывают детали механизмов дизеля.



**Сравнение содержания токсичных компонентов в отработавших газах искрового двигателя с катализатором и дизеля показывает, что последний «выигрывает» по выбросам оксидов азота и вне конкуренции по эмиссии твердых частиц.**

лизовать расход воздуха. В некоторых конструкциях воздушная заслонка все же используется. Ее назначение сводится к тому, чтобы при работе двигателя в задрессельном пространстве создавалось некоторое разрежение, необходимое для функционирования устройств автомобиля, использующих вакуумный привод. Значительно чаще для этой цели применяется вакуумный насос, который приводится в действие от распределительного вала двигателя.

Нельзя сказать, что отсутствие системы зажигания значительно упростило конструкцию дизеля. Напротив, «утрата» с лихвой компенсировалась появлением системы предпускового подогрева со свечами накаливания или электрофакельными элементами, дополнительными устройствами питания и управления, а также существенно более сложной и дорогостоящей системы топливоподачи, включающей топливный насос высокого давления (ТНВД).



**Сравнение характеристик современных «однообъемников» производства GM убедительно подтверждает большинство высказанных соображений об особенностях дизельных и бензиновых двигателей.**

Скорее всего, высокий ресурс дизелей — миф, который сформировался потому, что дизель является атрибутом коммерческих автомобилей, для которых большой пробег является нормой. Поэтому среди «миллионников» дизели встречаются значительно чаще. Имеющие существенно меньший годовой пробег бензиновые автомобили «умирают» раньше, и в большинстве случаев вовсе не по причине выхода из строя двигателя.

## О потерях и приобретениях

Реализация иных способов смесеобразования и регулирования обуславливает ряд конструктивных отличий дизельных двигателей от бензиновых. Начать стоит с упоминания о том, чего дизели лишены. Лишены они, как известно, системы зажигания в составе всех ее компонентов за их полной ненужностью. Помимо этого в большинстве дизелей отсутствует узел дросселя, так как нет необходимости регу-

лировать расход воздуха. В некоторых конструкциях воздушная заслонка все же используется. Ее назначение сводится к тому, чтобы при работе двигателя в задрессельном пространстве создавалось некоторое разрежение, необходимое для функционирования устройств автомобиля, использующих вакуумный привод. Значительно чаще для этой цели применяется вакуумный насос, который приводится в действие от распределительного вала двигателя.

Нельзя сказать, что отсутствие системы зажигания значительно упростило конструкцию дизеля. Напротив, «утрата» с лихвой компенсировалась появлением системы предпускового подогрева со свечами накаливания или электрофакельными элементами, дополнительными устройствами питания и управления, а также существенно более сложной и дорогостоящей системы топливоподачи, включающей топливный насос высокого давления (ТНВД). По сложности конструкции и уровню применяемых при изготовлении технологий ТНВД вполне сопоставим с самим мотором. Достаточно сказать, что некоторые насосы, применяемые на дизелях современных легковых автомобилей, развивают давление до 2000 бар. При этом они обеспечивают заданный момент впрыска топлива в пределах угла поворота коленчатого вала  $\pm 1^\circ$  и ювелирную точность его дозирования. Сложность и деликатность топливной аппаратуры дизеля чревата рядом не

№	Модель двигателя	Тип	Рабочий объем (см <sup>3</sup> )	Степень сжатия	Номинальная мощность кВт(л.с.)/частота вращения (мин <sup>-1</sup> )	Удельная мощность (кВт/л; л.с./л)
1	2,2 DTI Ecotec	Рядный 4-цил. дизель с турбонаддувом и непосредственным впрыском топлива	2171	18,5:1	92(125)/4000	42;58
2	2,2 Direct Ecotec	Рядный 4-цил. с непосредственным впрыском бензина	2198	12:1	114(155)/5600	52;71



очень приятных последствий: повышенными требованиями к качеству топлива, увеличением стоимости обслуживания, ремонта и запасных частей.

В конструкции дизельных моторов чаще можно встретить нагнетатели, применяемые для принудительного наддува воздуха. В основном нагнетатели приводятся в действие отработавшими газами (турбонагнетатели) или отбором мощности от коленчатого вала (механические нагнетатели). С помощью наддува увеличивается масса поступающего в двигатель воздуха. Это дает возможность впрыскивать большее количество топлива, тем самым увеличить мощность двигателя.

Дизель лучше приспособлен к применению наддува, который эквивалентен повышению степени сжатия. В то время как у бензинового мотора давление наддува ограничено детонационным порогом, дизельный мотор можно «надувать» сколько угодно. Единственное, что при этом нужно учитывать, — чтобы максимальное давление цикла не превысило допустимый уровень. Существуют способы снижения максимального давления в камере сгорания, например изменение циклограммы впрыска топлива. Благодаря высокой степени сжатия, давление отработавших газов в дизеле в 1,5–2 раза выше, чем в искровых моторах. Поэтому турбонагнетатели работают эффективно практически во всем диапазоне частот вращения.



Так выглядит одна из последних разработок известного «дизелеведа», фирмы Isuzu, которая устанавливается на ряд моделей автомобилей, выпускаемых концерном GM. Турбодизель 1,7 CDTI с непосредственным впрыском топлива, осуществляемым системой Common Rail.

Поставив вопрос о том, насколько основательны претензии дизельных моторов на первенство под капотом автомобилей (имелось в виду — легковых), мы не получили на него однозначно положительного ответа. Да, дизельный двигатель экономичнее, но выгода от его эксплуатации проявляется при очень больших ежедневных пробегах. В противном случае она обнуляется вследствие более частого и дорогого



Новая разработка концерна Bosch — распределительный ТНВД модели VP 44. Применяется в системах топливоподдачи «легковых» дизелей с непосредственным впрыском под давлением до 1950 бар.

Так что воплощенные «в железе» идеи Дизеля оказались не менее сложными и одновременно более материалоемкими и дорогими. Несмотря на внешнюю схожесть с бензиновыми моторами, разработка и производство дизельных двигателей — особая история. Далеко не все автопроизводители берутся за это дело и не у всех одинаково хорошо получается. Известным мастером «дизельных дел» по праву считается фирма Isuzu. Ее продукцию нередко используют другие автоконцерны для комплектации дизельных версий своих автомобилей.

С чем же в таком случае связан небывалый рост популярности дизельных «легковушек» у расчетливых европейцев? Возможно, это дань моде или следствие хитрой рекламной политики автопроизводителей, делающих упор на достоинства дизелей и умалчивающих об их недостатках. Хотя, не исключено, что эксплуатация нового автомобиля с современным дизельным мотором в условиях большой разницы в стоимости солярки и высококачественного бензина действительно оказывается более выгодной. Застрахованный от неожиданностей, откатал гарантийный срок, сдал автомобиль в счет оплаты за новый и экономь дальше. В противном случае — смотри выше.

Итак, ни бензиновый мотор, ни дизель, имеющие как преимущества, так и недостатки, пока не соответствуют идеальным представлениям об автомобильном двигателе. Скорее всего, идеал нужно искать где-то посередине между этими противоположностями единой сути, название которой — двигатель внутреннего сгорания. Справедливость этого предположения подтверждается жизнью. Налицо постепенный процесс сближения бензиновых и дизельных двигателей. Дизелисты работают над тем, чтобы сохранить преимущество дизельного процесса, качественное регулирование, нивелировать недостаток — гетерогенный характер смеси, сделав ее более однородной. Успех в этом направлении связывают с совершенствованием процесса распыливания топлива и использованием альтернативных тяжелых топлив, обладающих лучшей способностью к гомогенизации смеси.

В свою очередь, разработчики бензиновых моторов стремятся к тому, чтобы их изделия по ряду параметров приблизились к дизелям. Борются за повышение степени сжатия и экономичности, применяют непосредственный впрыск топлива, экспериментируют с использованием неоднородных по составу, обедненных смесей, добиваются улучшения тяговитости и эластичности искровых моторов. Нельзя не отметить, что это им удается. Поэтому вполне вероятно, что усилия «с обеих сторон» вскоре приведут к созданию идеального автомобильного двигателя, сочетающего в себе лучшие черты бензиновых и дизельных моторов. **АБС**

Редакция благодарит доктора технических наук, директора Ассоциации «НАМИ АСД» Георга Тер-Мкртчяна, а также специалистов ООО «Роберт Бош» за помощь в подготовке статьи.

Максимальный крутящий момент (Нм)/ частота вращения (мин <sup>-1</sup> )	Удельный крутящий момент (Нм/л)	Средняя скорость поршня при номинальной частоте вращения (м/с)	Расход топлива (смешанный цикл), (л/100 км)	Эластичность (ускорение на 5-й передаче 80–120 км/ч) (с)
			а/м Opel Vectra 2,2 с 5-ст. МКПП	
280/1500	129	13,1	6,1	12,5
220/3800	100	17,7	7,8	13,3