

Неправильное сгорание

АЛЕКСАНДР ХРУЛЕВ, канд. техн. наук,
директор фирмы «АБ-Инжиниринг»

СЕРГЕЙ САМОХИН

Какие нарушения процесса сгорания действительно возможны в современном массовом двигателе? Какие они могут иметь последствия и как их распознать?

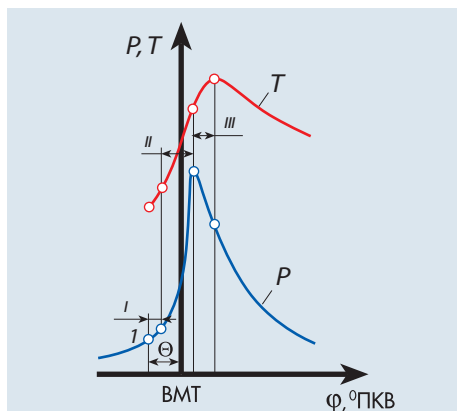
Злободневность этой темы определяется отсутствием ее правильного понимания у большей части населения, имеющего отношение к автотехнике. С рядовых автолюбителей, как говорится, спрос невелик. Хуже, когда понимание отсутствует и у некоторых специалистов, которые профессионально занимаются ремонтом и даже экспертной деятельностью и дают заключения о причинах отказов ДВС. Для обоснования своей (или той, что устраивает клиента) точки зрения некоторые используют в работе техническую литературу, которая была написана лет сорок и более тому назад. Конечно, физические основы рабочих процессов в ДВС остались неизменными, но конструкция и условия эксплуатации моторов кардинально изменились. Поэтому теория частично устарела, в каком-то смысле даже оторвалась от реальности и все в большей степени не согласуется с практикой. Несмотря на это, классическая книга остается авторитетом, на который сплошь и рядом ссылаются, по делу и нет.

Апофеоз

Вышел из строя двигатель 2,0 V6 Nissan Maxima: мотор «запаятерил» и потерял мощность. Владелец обратился в мастерскую, где ему сказали, что прогорел выпускной клапан, а виной тому плохой бензин. В пробе, взятой из топливного бака, действительно обнаружился некие отклонения от стандарта для автомобильных топлив. К делу подключились эксперты, которые в один голос принялись клеймить топливную компанию, цитируя авторитетные теоретические источники. Их заключения пестрели фразами: «нарушение процессов сгорания», «неуправляемый процесс воспламенения», «пятикратное увеличение давления», «троекратное увеличение температуры деталей». И тут же — «сильное нарушение испарения бензина», «снижение скорости сгорания» и

прогар выпускного клапана вследствие «догогорания топлива на выхлопе». Дефектовка двигателя также показала небольшой износ двух шатунных вкладышей. «Разжижение масла несгоревшим топливом», — отреагировали эксперты. После этого был вынесен окончательный вердикт: «Причина неисправности — в использовании топлива несоответствующего качества».

Однако при ближайшем рассмотрении выяснилось, что концентрация обнаруженных в бензине примесей была всего 2%, что лишь незначительно превышало норматив. Их фракционный состав примерно соответствовал керосину, т. е. легкому авиационному топливу. Присутствие примесей чуть снизило октановое число бензина, но оно осталось в пределах допуска для данного типа двигателя. На самом деле наличие таких примесей никакого вреда двигателю нанести не могло. И уж тем более вызвать в процессе что-то неуправляемое. Ведь керосин — это не легковоспламеняющийся



Зависимость давления и температуры в цилиндре от угла поворота коленчатого вала (индикаторная диаграмма): 1 — момент зажигания; I — образование начального очага пламени; II — фаза быстрого сгорания; III — фаза догорания; Θ — угол опережения зажигания

эфир, не правда ли? Ларчик открывался просто: пробег двигателя оказался более 200 000 км. Для маленького мотора тяжелой машины представительского класса это приличная цифра — он оказался банально изношен самым что ни есть естественным образом. И «умер» вполне прогнозируемой естественной «смертью»...

С подобными историями приходится сталкиваться довольно часто. Не переводятся умные головы, которые, всякий раз ссылаясь на теорию, допускают, что действительно возможно, чтобы процесс воспламенения стал неуправляемым, в результате чего давление в камере сгорания поднялось в пять раз, а скорость сгорания при этом уменьшилась. Это возможно только в случае вольной трактовки отдельных положений теории, оторванных от контекста.

Слово теории

Теория рабочих процессов ДВС отмечает три вида нарушений сгорания топливовоздушной смеси. Первый и наиболее часто встречающийся на практике — детонационное сгорание, или просто детонация. Несмотря на то что этот термин у всех на слуху, напомним суть явления детонации.

Нормальное сгорание заряда топливовоздушной смеси происходит в режиме турбулентного горения. Фронт пламени, сформировавшийся в результате поджига смеси искровым разрядом свечи зажигания, распространяется по заряду со скоростью до 60–80 м/с, расширяясь и захватывая все новые области смеси. Этот процесс сопровождается ростом давления и температуры в камере сгорания. Его основная фаза, в которой сгорает 80–85% топлива, завершается уже после прохождения поршнем ВМТ, к моменту, когда давление в цилиндре достигает максимума. Оставшаяся часть смеси, которая располагается в пристеночных слоях, где температура и турбулентность меньше, сгорает в фазе догорания. Вследствие начавшегося расширения продуктов сгорания и увеличения теплоотдачи в стенки камеры давление в цилиндре падает. А температура какое-то время продолжает расти, так что на некоторых режимах работы двигателя температура остатков смеси может превысить порог их самовоспламенения. К счастью, самовоспламенению предшествует временная задержка, необходимая для протекания так называемых предпламенных реакций. При нормальном режиме сгорания этого оказывается достаточно, чтобы избежать самовоспламенения — фронт пламени успевает поджечь остатки смеси «естественным» образом.

Другое дело, когда задержка самовоспламенения оказывается намного меньше времени распространения фронта пламени. Тогда в несгоревшей части смеси, расположенной на пери-

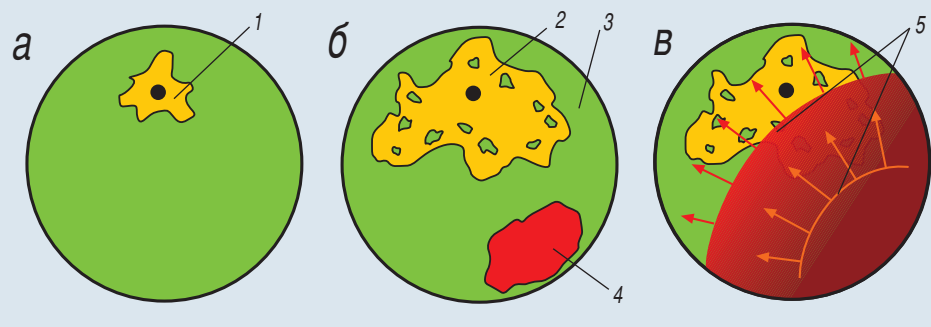
ферии камеры сгорания, возникают очаги объемного воспламенения. Сгорание в них носит взрывной характер, оно порождает ударные волны, которые распространяются по камере сгорания с огромной скоростью (до 1500 м/с), в десятки раз превышающей скорость распространения фронта турбулентного пламени. Проходя по камере сгорания, ударные волны, в свою очередь, повышают температуру остатков смеси, чем способствуют их самовоспламенению, и, многократно отражаясь от стенок камеры, вызывают звонкий металлический стук.

Но внешнее проявление детонационного сгорания — пустяк в сравнении с его «внутренними» последствиями. Сильная и продолжительная детонация может привести к механическим и термическим повреждениям деталей двигателя, находящихся в камере сгорания. Чаще от детонации страдают детали цилиндропоршневой группы — поршни и кольца. Поломки поршней по перемычкам между канавками колец, пожалуй, самое распространенное последствие детонации. Наряду с механическими поломками на поверхности деталей могут отмечаться и следы эрозии — характерные мелкие каверны на днище поршней и стенках камеры сгорания.

Возникновению детонации препятствуют различные факторы, увеличивающие задержку самовоспламенения и сокращающие время про-

Упрощенная схема возникновения детонации в камере сгорания:

- а) начало горения смеси, появление очага воспламенения у свечи зажигания (1);
- б) распространение фронта пламени (2) по объему топливоздушной смеси (3), объемное самовоспламенение части смеси, удаленной от свечи зажигания (4);
- в) распространение ударных волн (5) по камере сгорания, воспламеняющих еще не горевшую смесь



управления с обратной связью по сигналу датчика детонации. Так что детонация сегодня — вполне контролируемый процесс, чтобы можно было ожидать от него чего-то сверхъестественного. Подчеркнем главную особенность детонации — она возникает после воспламенения топлива искровым разрядом свечи зажигания. Так что «неуправляемый процесс воспламенения» — это не про нее.

Второй вид «неправильного» сгорания смеси — преждевременное воспламенение, или калиль-

будем торопиться с выводами. Лучше вспомним то, о чем нередко забывают: калильное зажигание возникает только под нагрузкой, на высоких частотах вращения мотора. Именно на таких режимах в двигатель подается большое количество топлива, которое при сгорании выделяет значительное количество тепла. Иначе откуда взяться энергии, достаточной, чтобы не только накаливать внутренности камеры сгорания, но и расплавить днище поршня?

Если же преждевременное воспламенение смеси происходит без нагрузки, калильное зажигание здесь ни при чем. Скорее всего, в этом виноват третий вариант нарушения сгорания. В англоязычных источниках его называют *dieseling*, то бишь «дизеление». В отечественной технической литературе он носит более длинное название — «воспламенение от сжатия при выключенном зажигании». Этот термин трудно произносимый, но точно отражающий суть явления. Она состоит в том, что хорошо прогретый двигатель после выключения зажигания не останавливается, а продолжает конвульсивно работать. Камера сгорания сильно разогрета, а частота вращения невысока — этого оказывается достаточно, чтобы смесь воспламенялась от сжатия.

В отличие от калильного зажигания «дизелинг» хотя и не очень приятен, но практически безопасен для двигателя. В цилиндр поступает настолько мало топлива, что прогореть ничего не может в принципе. Да и конвульсии мотора быстро прекращаются после нажатия на педаль газа... **АБС**

Продолжение следует.

Найди в этом номере

Поднебесная диагностика

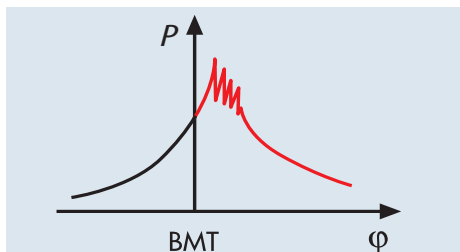


Детонация сегодня — вполне контролируемый процесс, чтобы можно было ожидать от него чего-то сверхъестественного.

хождения фронта пламени. Среди них можно отметить ограничение степени сжатия, уменьшение диаметра цилиндра, центральное расположение свечи зажигания или использование двух свечей, применение высокооктановых топлив, турбулизацию топливного заряда, улучшение охлаждения стенок камеры сгорания, увеличение частоты вращения и снижение нагрузки двигателя, а также уменьшение угла опережения зажигания. Последний успешно используют для борьбы с детонацией в системах

ное зажигание. Сам термин «калильное зажигание» говорит о том, что топливный заряд поджигается не искровым разрядом, а нагретыми (раскаленными) до высокой (более 700–800 °С) температуры участками поверхности камеры сгорания: электродом свечи, острыми кромками тарелки выпускного клапана, поршня, головки или частицами нагара. Воспламененная калильным зажиганием смесь сгорает обычным образом. Беда лишь в том, что горение начинается преждевременно, как будто бесконтрольно увеличился угол опережения зажигания. В результате пики давления и температуры в цилиндре смещаются по времени и могут наблюдаться еще до прихода поршня в ВМТ. При этом мотор теряет мощность, а детали цилиндропоршневой группы и камеры сгорания перегреваются, тем самым давая пищу для дальнейшего развития калильного зажигания — оно наступает все раньше и раньше. Если не принять контрмер (не выключить зажигание), двигатель может в течение нескольких секунд выйти из строя — чаще всего из-за прогорания поршня.

Так вот оно — «нарушение процессов сгорания»? Значит, правы были эксперты? Но не



Детонация обычно начинается при достижении максимума давления в камере сгорания. Датчик давления регистрирует ее как высокочастотную вибрацию