

# Тюнинг: от идеи до практики

АЛЕКСАНДР ХРУЛЕВ, кандидат технических наук, директор фирмы «АБ-Инжиниринг»

Когда в 1999 году мы начали публикацию серии статей, посвященных форсированию двигателей (№№ 7-9/1999), специализированные мастерские (сейчас их называют тюнинговые ателье), способные выполнить такую работу, можно было пересчитать по пальцам. За какие-то три года спрос на эти работы настолько возрос, что тюнинг двигателя теперь стал обыденным явлением.

Желая повысить мощность двигателя, любой владелец автомобиля без труда найдет не один десяток адресов (как крупных центров, так и обычных СТО), где можно «оттюнинговать» двигатель. Конечно, такая доступность должна радовать. Но настораживает то, что технически сложные работы по изменению конструкции двигателя (а именно в этом суть настоящего тюнинга) сегодня проводятся повсеместно. Да и более близкое знакомство с работой механиков, смело улучшающих двигатели посредством тюнинга, наводит на размышления.

## Мода на... тюнинг?

Что, в самом деле, означает массовость тюнинга двигателя? Доступность услуги — это, понятное дело, хорошо. А вот ее качество? Тут возникает масса вопросов. Давайте разберемся.

Тюнинг двигателя предполагает, в первую очередь, вмешательство в конструкцию двигателя, худо-бедно, но уже отработанную производителем. Изменение конструкции мотора, как известно, иногда приводит и к отрицательным результатам. За примерами далеко ходить не приходится. На рост токсичности выхлопных газов обычно принято закрывать глаза. И хотя отечественные нормы токсичности весьма «мягкие», но даже и они нарушаются «по жизни» без стеснения. В этом же ряду и повышенный расход топлива. А если двигатель «тюнингуется» по максимуму, то вопрос об экономичности звучит наивно и, как правило, даже не обсуждается.

Хуже, когда изменения, повышающие мощность двигателя, негативно сказываются на его ресурсе и надежности. Обычно такая опасность возрастает с ростом степени форсирования, т.к. чем более мощным становится двигатель, тем больший объем изменений вносится в его конструкцию, и приходится использовать большое количество нестандартных комплектующих.

Картина получается безрадостная. Но, к счастью, такую работу делают не «на каждом углу». В тюнинговый «бум» вмешивается экономика. Действительно, специальные детали и узлы для

тюнинга двигателя — вещи весьма и весьма дорогостоящие, их цена во много раз превышает цену стандартных аналогов. К тому же работы по доводке или, как стало модно говорить, «тюнингованию» двигателя тем дороже, чем больше их объем.

В результате имеем следующую ситуацию на рынке «тюнинговых» услуг: наибольшее распространение получил относительно «безопасный» тюнинг — самый дешевый, не требующий серьезного вмешательства в двигатель. Количество специальных комплектующих для такой работы также минимально.

Очевидно, что для проведения этих работ персонал высокой квалификации не нужен. В самом деле, установить новый распределительный вал с измененными фазами газораспределения — не слишком большая премудрость. А потому такую работу для самых распространенных у нас ВАЗовских моторов легко проделают (и не «задорого») в любой мастерской или СТО, в списке услуг которой значится слово «тюнинг». Хотя, справедливости ради, заметим: даже эту, самую простую работу сделать непросто, и механик без соответствующей подготовки может с ней не справиться.

Но не каждый заказчик согласен с таким минимумом. А тогда — и детали дороже, и работа сложнее. Вот и выходит, что дальнейшее движение к «тюнинговому Олимпу», т.е. максимальному форсированию двигателя, идет не без «потерь» — количество мастерских, предлагающих сложные работы, плавно уменьшается с ростом сложности переделок. В конце концов, это количество переходит в качество буквально: для желающих «выжать» из своего мотора максимум — выбор невелик.

Причина очевидна. Серьезные работы требуют глубоких знаний процессов, происходящих в дви-

гателе, чувства «металла», когда механик, как говорят, «нутром чует» особенности работы каждого узла или детали. Специалистов такого класса немного, и их работа не имеет ничего общего с массовой «тюнингацией».

В подавляющем большинстве обычных мастерских глубоко в процессы работы двигателя не вникают. Раз мода рождает спрос, то за предложением дело не станет. А что предлагают? Все, что пожелаете. Хотите распредвал? Пожалуйста, прибавим 20% мощности. Доработать головку блока цилиндров? Нет проблем, еще 10%. Карбюратор, чип? Еще 10%, только платите.

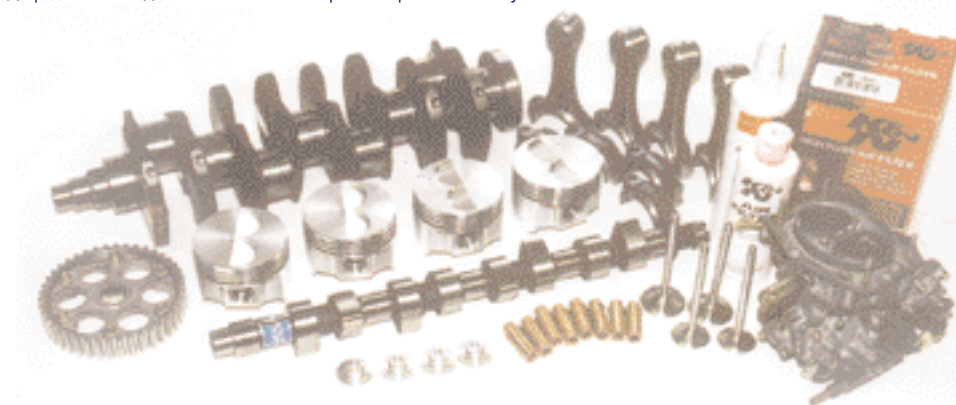
Такая ситуация напоминает происшедшее лет 10-15 назад. Вспомните «бум», связанный с экономией топлива. Чего только тогда не предлагали! И подход был тот же: хочешь сэкономить 20% бензина — поставь вот такое устройство, еще 10% — вот это, а такая «примочка» даст еще... Кто-то даже посчитал, что если все эти способы реализовать одновременно, то бензин должен течь не из бака в двигатель, а наоборот.

Но в двигателе все сложнее — в нем с бешеной скоростью вращаются детали, текут потоки газов, и возникают огромные нагрузки. И все взаимосвязано: изменил что-то здесь — получил разницу там. А потому без серьезной подготовки трудно рассчитывать на успех мероприятия, называемого «тюнинг двигателя».

По нашему мнению, заказчику, желающему форсировать двигатель, не следует оставаться в стороне от технических проблем. Необходимо четко определиться в своих требованиях. Иначе велика опасность обратиться «не туда» и получить «не то», что хотелось.

Короче говоря, прежде чем вторгаться в конструкцию двигателя, желательно не один раз

Цена набора деталей для тюнинга достаточно велика. Дорого обойдется и ошибка при неграмотной установке.



подумать, осмыслить технические подробности способов его форсирования. А потому нелишне узнать, о чем говорит теория.

### Мощность или момент?

Стремление многих водителей увеличить мощность двигателя своего автомобиля вполне объяснимо. И дело, конечно же, не только в русском характере, который «любит быструю езду».

Более мощный двигатель делает машину более маневренной, а при правильном управлении и более безопасной. Но вот вопрос: что такое мощность? С чем ее «едят», как ее почувствовать?

Может быть, более мощный двигатель — это тот, который лучше «тянет»? В смысле, позволяет автомобилю быстрее разогнаться? Что ж, посмотрим...

Вот самый обычный двигатель — ничего примечательного. А вот — похожий, но только его максимальная мощность вдвое больше. Попробуем разгон с места: с первым — все ясно, а со вторым — проблема: не тянет! То есть отпускаем, как обычно, педаль сцепления, нажимаем на «газ» и... ничего. Прямо «керегаз» какой-то, не разгоняется!

Ничего удивительного в этом нет: форсированный двигатель, в данном случае имеющий вдвое большую максимальную мощность, не работает на низких оборотах, к которым привык водитель.

Его сначала нужно разогнать — увеличить обороты тысяч до четырех, не меньше. Только там, «на верхах», т.е. на высоких оборотах, реализуются все преимущества такого мотора. А теперь попробуйте с такими оборотами покатайтесь по городу, где и светофоры, и пробки!

Парадокс и только: в нашем примере двигатель слабый, а «тянет» лучше! Значит, мощность — это еще не все. Иными словами, значение максимальной мощности еще не говорит о преимуществах, эту величину необходимо как-то реализовать на практике.

Почему же «слабый движок» лучше тянет? Все просто — его крутящий момент оказался выше в большей части диапазона числа оборотов. Более того, значение крутящего момента у него имеет пологую характеристику, т.е. слабо изменяется по частоте вращения. А это сразу чувствует водитель — не надо «газовать», машина послушно отзывается на педаль акселератора.

Получается, что величина крутящего момента более значима в обычных условиях дорожного движения.

Попробуем охарактеризовать влияние крутящего момента двигателя на разгонную динамику автомобиля. Ускорение автомобиля ( $a$ ) можно оценить, используя известный закон Ньютона. Пренебрегая в первом приближении силами трения, сопротивления и инерции вращающихся масс, запишем:

$$F = m \cdot a \quad (1)$$

где  $F$  — сила «тяги», ускоряющая автомобиль;  $m$  — его масса.

В свою очередь, сила  $F$  связана с крутящим моментом  $M_k$  ведущего колеса следующим соотношением:

$$F = \frac{2 M_k}{D_k}$$

где  $D_k$  — диаметр колеса.

Крутящие моменты двигателя  $M_e$  и колеса  $M_k$  связывает простое соотношение:

$$M_k = \frac{i_T M_e}{2}$$

где  $i_T$  — передаточное число трансмиссии. Подставляя значения  $F$  и  $M_k$  в уравнение (1), находим значение ускорения автомобиля:

$$a = \frac{M_e i_T}{m D_k} \quad (2)$$

Таким образом, чем выше значение крутящего момента двигателя, тем больше ускорение автомобиля. Если учесть, что величина крутящего момента не постоянна, а зависит от многих факторов (к примеру, от частоты вращения), то при разгоне ускорение автомобиля также будет изменяться.

А как же быть с мощностью? Этот параметр, по нашему мнению, более нагляден, когда нужно определить максимальную скорость, до которой способен разогнаться автомобиль. В этом случае мощность двигателя  $N_e$  идет на преодоление аэ-

родинамического сопротивления  $N_a$ , сил трения качения колес  $N_k$  и сопротивления в трансмиссии  $N_m$ :

$$N_e = N_a + N_k + N_m \quad (3)$$

Другими словами, чем выше мощность двигателя, тем при прочих равных условиях может быть выше максимальная скорость автомобиля. При этом не следует забывать, что мощность двигателя, в свою очередь, зависит от частоты вращения коленвала и связана с величиной крутящего момента простой зависимостью:

$$N_e = \frac{M_e n}{9550}$$

где  $n$  — частота вращения коленвала (об/мин).

Крутящий момент и мощность двигателя передаются на колеса через трансмиссию. Очевидно, что разгонная динамика и максимальная скорость автомобиля зависят от передаточных чисел в КПП и в главной передаче. Эти параметры чрезвычайно важны для реализации всех потенциальных возможностей двигателя. Правильно подобранные передачи в трансмиссии способны значительно повысить эксплуатационные свойства автомобиля, а ошибки в их подборе могут нивелировать результат всех усилий по форсированию двигателя.

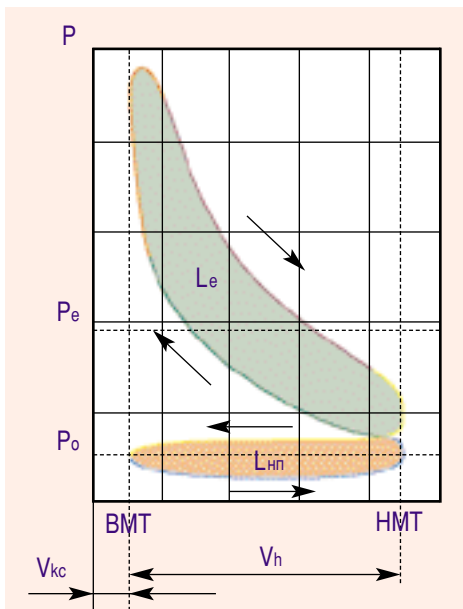
Так или иначе, а любая реконструкция двигателя с целью повышения его мощности — работа комплексная, основанная на четком представлении о том, что все-таки мы хотим получить, как это сделать и можно ли это сделать вообще. Здесь без знания рабочих процессов, протекающих в двигателе, никак не обойтись.

### О чем говорит теория?

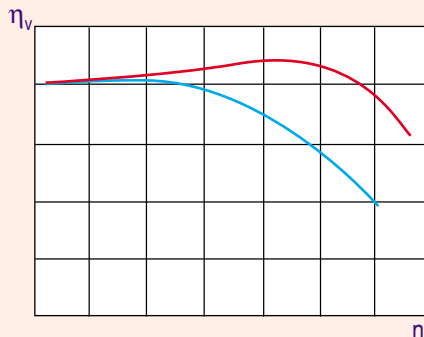
Чтобы окончательно разобраться с моментом и мощностью двигателя, обратимся непосредственно к теории его работы. При работе двигателя давление в его цилиндрах изменяется от минимума на такте впуска до максимума при сгорании топлива в начале рабочего хода. Характер изменения давления в цилиндре можно изобразить графически, связав его с текущим объемом цилиндра, который меняется от минимума, равного объему камеры сгорания ( $V_{kc}$ ) в верхней мертвой точке (ВМТ), до максимума — полного объема цилиндра ( $V_{kc} + V_h$ ) в нижней.

Это известная индикаторная диаграмма — зависимость давления в цилиндре  $P$  от его текущего объема  $V$  в таких координатах, гласит теория, площадь под кривой представляет собой работу, совершенную в данном цикле.

Верхняя часть индикаторной диаграммы, ограниченная кривыми процессов сжатия и расширения (рабочего хода) в цилиндре, — это так называемая индикаторная работа цикла  $L_i$ , т.е. работа, вычисленная по индикаторной диаграмме. Нижняя часть — под кривыми впуска и выпуска — работа насосных ходов  $L_{nh}$ . Если вычесть из полезной работы  $L_i$  работу насосных ходов  $L_{nh}$ , а также



Индикаторная диаграмма работы четырехтактного ДВС:  
 $P_e$  — среднееэффективное давление;  
 $P_o$  — давление окружающей среды;  
 $V_{kc}$  — объем камеры сгорания;  
 $V_h$  — рабочий объем цилиндра;  
 $L_e$  — полезная работа цикла;  
 $L_{nh}$  — работа насосных потерь.  
 — впуск;  
 — сжатие;  
 — сгорание;  
 — рабочий ход;  
 — выпуск.



Зависимость коэффициента наполнения (отношение действительного количества смеси, поступившей в цилиндр, к теоретически возможному) от частоты вращения при полностью открытой дроссельной заслонке:  
 — стандартный двигатель;  
 — форсированный двигатель.

работу  $L_m$ , затраченную на преодоление сил трения и механического сопротивления (в том числе, на привод агрегатов), то получим эффективную работу цикла двигателя:

$$L_e = L_i - L_{hx} - L_m \quad (4)$$

Величина работы не наглядна и мало что может рассказать о процессах, протекающих в двигателе. Поэтому в теории часто оперируют удельными параметрами. К примеру, если работу, совершенную за цикл, отнести к объему цилиндра  $V_h$ , можно получить удельный параметр, удобный для сравнения разных двигателей. Это — так называемое среднее эффективное давление цикла двигателя:

$$P_e = \frac{L_e}{V_h} \quad (5)$$

Далее легко вычислить значения крутящего момента  $M_e$ :

$$M_e = 79,6 \cdot iV_h \cdot P_e \quad (6)$$

и мощности двигателя  $N_e$ :

$$N_e = \frac{M_e n}{9550} = \frac{iV_h P_e n}{120} \quad (7)$$

где  $i$  — число цилиндров.

Итак, некоторые зависимости получены, попробуем их проанализировать.

### С точки зрения практики

Первое, что бросается в глаза: крутящий момент явно не зависит от частоты вращения коленвала, а определяется лишь объемом двигателя  $iV_h$  и среднее эффективное давление  $P_e$ . Очевидно, имеются два пути повышения  $M_e$ : увеличение объема двигателя и повышение его  $P_e$ .

С объемом все понятно — чем больше, насколько позволяет конструкция двигателя, тем лучше. С параметром  $P_e$  «бороться» сложнее. Но индикаторная диаграмма подсказывает, что параметр  $P_e$  — это давление, которое можно повысить, увеличив степень сжатия. Правда, резервов тут немного — возможности этого способа ограничены детонацией.

Можно подойти и с другой стороны. Чем больше топливовоздушной смеси мы «загоним» в двигатель, тем, очевидно, больше тепла выделится при сгорании топлива в цилиндре и тем выше будет давление в нем.

Улучшить наполнение цилиндра смесью можно путем увеличения проходных сечений и изменения формы впускных каналов, клапанов и седел, доработки камеры сгорания, а также расширением фазы (продолжительности) впуска. Положительно повлияют и мероприятия, направленные на снижение гидравлического сопротивления впускного тракта: ликвидация «уступов» и острых углов в местах стыка деталей, установка воздушного фильтра с низким сопротивлением.

Кардинальным средством повышения наполнения, а следовательно, и давления в цилиндре следует признать наддув. Однако этот способ сложно реализовать в «тюнинговой» практике, т.к. он связан с большим объемом переделок в двигателе.

Значительное влияние на величину  $P_e$  оказывает работа выпускной системы. «Неправильный» выхлоп может «задавить» двигатель, повысив давление в цилиндре на такте выпуска, что, согласно индикаторной диаграмме, приведет к росту работы насосных ходов. Кроме того, большое сопротивление выхлопной системы препятствует наполнению цилиндра смесью, поскольку не все выхлопные газы успеют покинуть цилиндр и займут часть объема свежей смеси. В этой связи не менее важны проходные сечения выпускных каналов, размеры и форма тарелок и седел клапанов, а также продолжительность (фаза) выпуска.

Снова обратимся к формуле (4) работы цикла двигателя. Очевидно, работа, затрачиваемая на преодоление механических потерь, — «вещь» вредная, поскольку уменьшает значения  $P_e$ ,  $M_e$  и  $N_e$ . Но и тут есть резервы. Можно снизить потери на преодоление сил трения в цилиндропоршневой группе целым рядом мероприятий: снижением массы поршней и шатунов, уменьшением размера юбки поршней и толщины поршневых колец, переносом места фиксации шатуна от осевого смещения в бобышки поршня и др. Кроме того, имеет значение и снижение разбрызгивания масла коленвалом путем специального направления масла, сливаемого из головки блока, установки маслоотражающих экранов и т.д. Правда, эти мероприятия, в основном, эффективны на высоких оборотах, когда потери на преодоление трения особенно велики.

Перечень возможных переделок можно продолжать, однако не стоит надеяться, что отдельно доработанный узел или деталь сразу даст прибавку мощности или крутящего момента процентов этак на ...дцать. Простой пример: увеличиваем объем цилиндров на 20%. Согласно формуле (6), это должно привести к пропорциональному повышению значения крутящего мо-

мента. Но не приведет! В двигателе все взаимосвязано — оставленные без изменения системы впуска, выпуска и управления не обеспечат хорошего наполнения, сгорания топлива и очистки (продувки) цилиндров увеличенного объема. В результате снизится значение  $P_e$ , и реальная прибавка крутящего момента окажется раза в полтора-два меньше, да и то лишь на малых и средних оборотах.

Кстати, о системе управления. Так называемый «чип-тюнинг» обеспечивает прибавку мощности всего на 5–7%. В то же время после «глубокого» тюнинга механической части двигателя настройка системы управления может дать намного больший эффект.

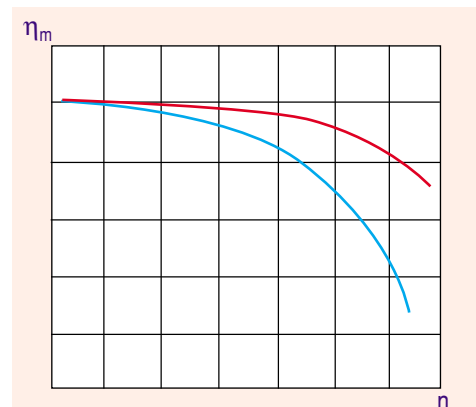
Итак, пути повышения мощности двигателя определены. Кажется, осталось запастись соответствующими деталями и — к двигателю. Однако не будем торопиться — сделать это мы всегда успеем.

### Еще немного теории

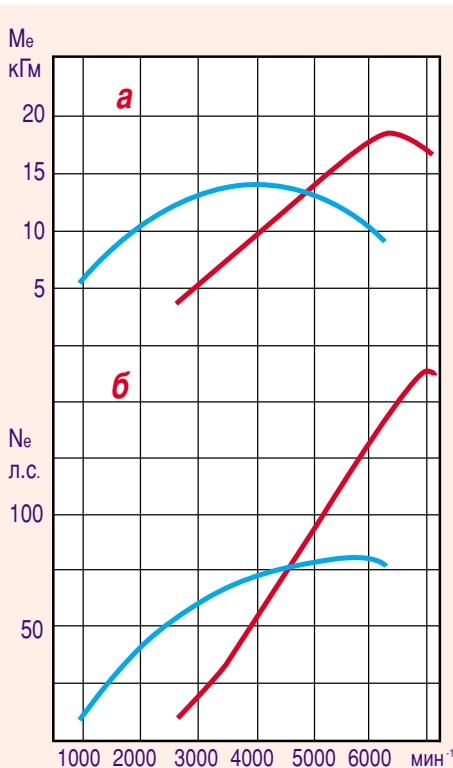
Как мы уже отметили, в двигателе все взаимосвязано. На практике это означает, что изменение в одном узле ведет к перемене всего рабочего процесса: от воздухозаборника до среза выхлопной трубы. Причем на разных режимах любое вмешательство оказывает различное воздействие. Более того, то, что хорошо на одном режиме, может оказаться плохо на другом.

Проведем такой эксперимент: разгон автомобиля от оборотов холостого хода двигателя до максимальных. Реально это выглядит следующим образом: скорость 30 км/час, 4-я передача, «газ в пол». Вначале «тяги» почти нет — автомобиль едва разгоняется. Затем ускорение увеличивается, достигая максимума, и снова уменьшается, пока вблизи максимальных оборотов двигатель не «зависает».

Что это? На практике мы повторили испытания так называемой внешней скоростной характеристики двигателя — зависимости  $M_e$  и  $N_e$  от частоты вращения коленвала при полностью открытой дроссельной заслонке.



Зависимость механических потерь (механического КПД) от частоты вращения коленвала:  
 — стандартный двигатель;  
 — форсированный двигатель.



Внешние скоростные характеристики двигателей (при полностью открытой дроссельной заслонке):  
 а) изменение крутящего момента по частоте вращения;  
 б) изменение мощности по частоте вращения:  
 — стандартный двигатель;  
 — форсированный двигатель.

Кроме того, на диапазон средних оборотов одновременно «настраивают» и фазы газораспределения: опережение открытия относительно мертвых точек впускного и выпускного клапанов, их перекрытие (длительность одновременного открытия) и продолжительность впуска и выпуска по углу поворота коленвала. Именно фазы газораспределения в сочетании с правильно подобранной геометрией каналов и дают максимум наполнения цилиндров в выбранном, однако довольно узком, диапазоне частоты вращения.

Естественно, отклонение в сторону меньших оборотов делает продолжительность фаз «избыточной»: возникает заброс выхлопных газов во впускную систему, ухудшается очистка и наполнение цилиндров. При повышении же оборотов фазы оказываются слишком «узкими» и ограничивают как очистку, так и наполнение цилиндров. Результат — значения  $P_e$  и  $M_e$  падают как при уменьшении, так и при увеличении числа оборотов. Причем в области больших частот вращения величина  $M_e$  дополнительно снижается за счет быстрого роста механических потерь.

Мощность двигателя  $N_e$ , также как и его момент  $M_e$ , имеет максимумы, которые за счет влияния частоты вращения (см. формулу 7) сдвинуты в сторону повышенных оборотов.

Теперь, зная характер изменений значений  $M_e$  и  $N_e$  от частоты вращения, попробуем изменить «настройки». В первую очередь «расширим» фазы газораспределения. Максимумы значений  $M_e$  и  $N_e$  переместятся в область более высоких оборотов, при этом заметно увеличится максимальное значение  $N_e$ . Именно этот эффект и лежит в основе форсирования двигателя по частоте вращения: так строят, к примеру, все спортивные моторы.

**От идеи до практики**

Итак, основные закономерности мы выяснили. Попробуем теперь выбрать схему, по которой можно форсировать двигатель.

Очевидно, первое, что надо решить, — насколько необходимо увеличить объем цилиндров. Если поставлена цель — достичь максимального эффекта при форсировании, то объемом пренебрегать нельзя, даже если в нашем распоряжении не так много возможностей: повышение мощности и момента прямо пропорционально объему цилиндров.

Следующее по значимости — это фазы газораспределения. Необходимо сделать выбор: «строим» ли мы «скоростной» двигатель, который будет «раскручиваться» на высоких оборотах, или «моментный», для работы на средних оборотах. Это, без сомнения, зависит от темперамента водителя и стиля езды. На этом этапе предстоит выбор распределительного вала для нашего мотора — именно параметры вала определяют характер изменения момента и мощности по частоте вращения коленвала.

Затем все узлы и детали двигателя «настраиваются» на объем двигателя, но главное, на соответствие выбранному распределительному валу. Другими словами, весь клапанный механизм, каналы впуска и выпуска, цилиндропоршневая группа — все «подстраивается» под характеристики распределительного вала.

Какой бы мотор ни получился в результате — это будет уже новый, другой мотор. И им надо по-другому управлять. То есть по-иному, но точно регулировать состав топливно-воздушной смеси и угол опережения зажигания. Поэтому следующий этап работы — настройка системы управления двигателем. Без этого новый двигатель не только не «выдаст» всех своих возможностей, но может проиграть своему стандартному аналогу. Особенно это касается двигателей с электронными системами впрыска топлива.

И, наконец, трансмиссия. Ее, возможно, придется дорабатывать, к примеру, изменять передаточные числа главной передачи или отдельных передач. Ведь двигатель, какой бы хороший он ни получился, работает не сам по себе, а вращает колеса автомобиля.

Реализация на практике всех этих этапов — задача непростая, и ее сложность возрастает прямо пропорционально росту мощности и крутящего момента, которые мы хотели бы получить. Чтобы добиться хороших результатов, необходимы опыт и знания, специальный инструмент и приспособления, станочная база, детали и комплектующие. Кроме того, результаты работы необходимо проконтролировать не субъективно, по ощущениям водителя, а объективно, испытав двигатель на специальном стенде.

Обо всем этом, а также об экономической стороне вопроса, мы постараемся подробно рассказать в наших будущих материалах.

**Наша справка:**

- Получить необходимую консультацию и форсировать двигатели VA3, VW и Opel можно в Специализированном моторном центре «АБ-Инжиниринг». Тел.: (095) 158-8153.  
[www.ab-engine.ru](http://www.ab-engine.ru)  
 e-mail: [ab@ab-engine.ru](mailto:ab@ab-engine.ru)
- Провести испытания автомобилей на мощностном стенде со снятием характеристики двигателя можно в Сервисном центре ЗАО «Аояма Моторс» по адресу: г. Москва, ул. Новомосковская, д. 24.  
 Тел./факс: (095) 216-6810/6724/8483/2790/2572  
 e-mail: [aoyama.service@mtu-net.ru](mailto:aoyama.service@mtu-net.ru)