

Увеличение мощности двигателя посредством наддува (Грэм Белл)

Предисловие.....	2
1. Знакомство с технологией наддува	3
2. Уроки истории	5
3. Турбокомпрессоры: прошлое и настоящее.....	11
4. Закись азота: от истоков до наших дней.....	26
5. Наддув: теория и основные принципы	30
6. Что необходимо знать о турбокомпрессорах	40
7. Управление давлением наддува турбокомпрессора.....	50
8. Стратегия предотвращения турбоям в турбокомпрессорах.....	59
9. Что необходимо знать о турбокомпрессорах	65
10. Охлаждение впускного заряда.....	72
11. Впрыск воды и другие альтернативные решения.....	84
12. Топливо и топливные присадки.....	90
13. Система подачи топлива	101
14. Система впуска воздуха.....	112
15. Впрыск закиси азота	126
16. Система выпуска отработанных газов.....	134
17. Процесс горения и система зажигания	150
18. Система управления двигателем.....	168
19. Повышение износостойкости двигателя	180
20. Система смазки	203
21. Система охлаждения.....	213
22. Модификация заводского двигателя с наддувом.....	225
23. Проверка теории на практике	232
24. И еще несколько размышлений.....	237

Предисловие

Даная книга была написана, основываясь на предположении, что даже самую запутанную тему можно сделать понятной, если изложить ее должным образом. Наддув в различных формах используется на протяжении длительного времени и был разработан и применен обычными людьми, такими же, как и вы. Даже в самых сложных технологиях можно разобраться. Я не родился с этими знаниями. Я сконструировал свой первый двигатель с приводным компрессором 35 лет назад и я до сих пор учусь. Если что-то идет не так, как я задумал, я провожу дополнительные исследования и решаю возникшую проблему, к тому же, я советуюсь с другими людьми и наблюдаю за тем, что они делают. Я старался собрать весь накопленный мною опыт в данной книге, изложив все основные принципы и положения как можно более доступно.

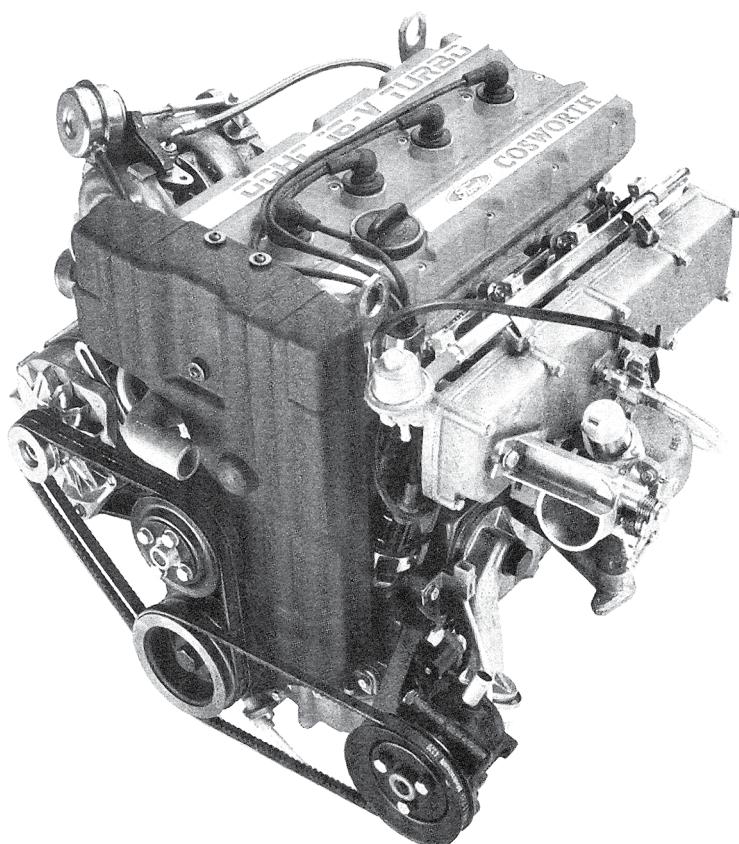
Наддув можно сравнить к примеру с войной. Журналисты и многие люди склонны воспринимать военную мощь, как благородную и безобидную силу без какого-либо намека на зло. Однако на самом деле, все может быть совсем наоборот. Я впервые увидел гоночный автомобиль с турбированным двигателем в середине 60-х годов. Выглядел он соответствующе, с низким дорожным просветом и подходящими широкими шинами, хотя это был всего лишь Ford Anglia. При этом под капотом у него располагался двигатель с двумя распределителями с автомобиля Lotus Cortina, который сам по себе был «серьезным агрегатом» в те времена. Но всеобщее внимание сосредоточилось на боковой части двигателя, а точнее — на большом турбокомпрессоре!

Как этот автомобиль вел себя на треке? В общем, после года испытаний, он все еще был в хвосте Mini, которые обладали лишь третьей частью его мощности. Водитель несомненно был настоящим профессионалом, не лишенным таланта, и дело было не в финансовых ограничениях. Не хватало понимания необходимого баланса между работой си-

стем наддува, зажигания и питания, что позволило бы двигателю быстро реагировать на действия водителя.

В то время во всех мастерских по тюнингу пытались добиться точной как часы работы системы зажигания, и «колдовали» над карбюраторами, не говоря уже о попытках установки турбированных двигателей с грузовиков на легковые автомобили. Сегодня все намного проще. Производители автомобилей выпускают огромное количество моделей автомобилей, начиная со скромных малолитражек и заканчивая мощными «суперкарами» с турбированными двигателями, с различными уровнями технических характеристик и возможностей. Огромные средства были вложены в развитие технологии наддува, к тому же не стоит забывать и об усовершенствовании систем электронного управления двигателем, что позволило обеспечить информативное управление, даже в самых мощных автомобилях. Однако, не смотря на эти преимущества, я часто вижу автомобили с модифицированными турбированными двигателями, которые просто напросто не работают. Конечно же, эти двигатели очень мощные, но так как эту мощность не такто просто использовать, она бесполезна в большинстве случаев.

Цель этой книги: рассказать о наддуве просто и доступно, так, как нужно рассказывать обо всем. В то же время, я не хочу вводить вас в заблуждение, что наддув является прямой дорогой к наслаждению скоростью и небывалой мощностью. На вашем пути будет много трудностей, и эта книга даст вам всестороннее понимание всех аспектов турбонаддува, компрессоров с приводом и впрыска закиси азота. Надеюсь, это убережет вас от ошибок. Более того, в дальнейшем вы получите возможность самостоятельно работать над проблемами развития данных технологий, чтобы получить именно те технические характеристики, которые нужны вашему автомобилю.



1. Знакомство с технологией наддува

Раньше, если мы хотели улучшить технические характеристики автомобиля, у нас было два сравнительно простых варианта: мы обращались либо к дилеру в поисках автомобиля с большим объемом двигателя, либо в мастерскую по тюнингу, чтобы расточить двигатель, модифицировать головку блока цилиндров и распределители или установить прямоточные впускные и выпускные каналы.

В обоих случаях мы хотели, иногда даже и не догадываясь об этом, чтобы в двигатель попадало больше воздуха.

Все двигатели на самом деле можно сравнить со сложными компрессорами с большим количеством дополнительных аксессуаров. Мощность двигателя определяется количеством топлива, которое он сжигает. Максимальная мощность достигается при сжигании 1 л топлива и 14,9 л воздуха. Следовательно, когда мы увеличиваем количество воздуха в двигателе, мы можем увеличить и количество топлива в цилиндрах, что приведет к увеличению мощности двигателя.

Решившие приобрести двигатель большего объема на самом деле просто тратят значительные суммы на больший объем цилиндров, легкие большого объема, если хотите. Но при увеличении мощности в этом случае проявится и обратная сторона медали. Часто больший объем цилиндров приводит к тому, что масса двигателя и, следовательно, всего автомоби-

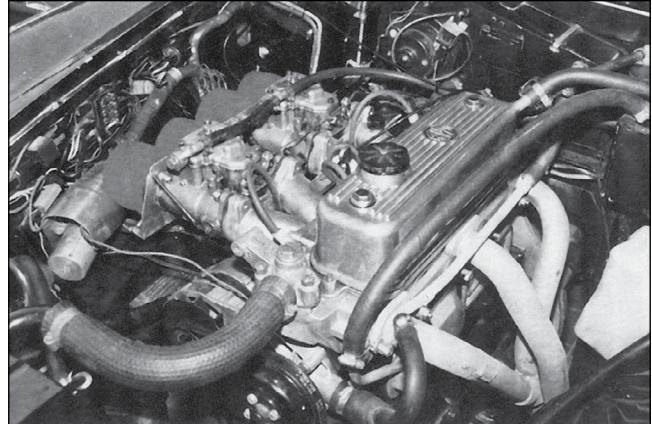
ля также увеличивается. И не стоит забывать об увеличении внутреннего трения, что негативно отразится на технических характеристиках и расходе топлива. В действительности увеличение объема двигателя на 50% приведет к улучшению технических характеристик в лучшем случае на 40%.

В случае модификации двигателя мощность также возрастет, однако не в результате увеличения объема цилиндров. Скорее, этот метод поможет сделать работу двигателя эффективнее, позволяя втягивать больше воздуха при меньшем объеме. Но, как известно, за все нужно платить. Часто технические характеристики двигателя на низких оборотах ухудшаются, а мощность увеличивается только в верхнем диапазоне.

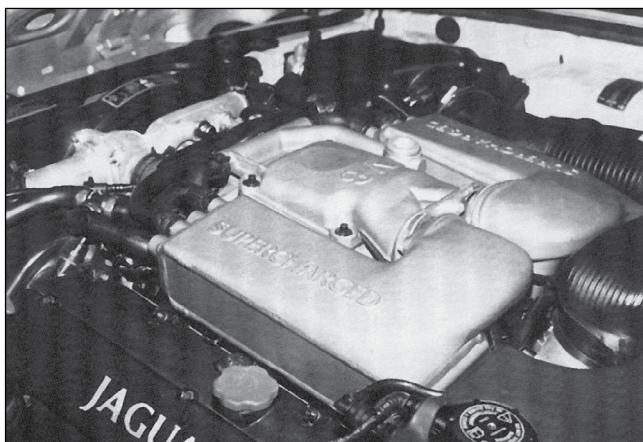
Наддув является одним из способов подачи большего количества воздуха в двигатель. Это достигается с помощью механических или химических средств. Компрессор может приводиться в действие от ремня или шестерни (его обычно называют нагнетателем). В следующей главе вы увидите, что существует большое количество разнообразных конструкций. Другой тип нагнетателя приводится в действие горячими выхлопными газами. В этом случае его называют турбокомпрессором. Независимо от типа конструкции основной задачей компрессора является нагнетание большего количества воздуха в двигатель.



У многих большая мощность ассоциируется с большим объемом двигателя, и даже 5,7 л не предел!



Другие считают, что важно увеличить эффективность работы, и прибегают к модификации двигателя, устанавливая магистральные трубопроводы выхлопной системы и несколько карбюраторов. В данном случае стандартная головка блока цилиндров с пятью каналами из чугуна была к тому же заменена головкой блока цилиндров из сплавов с семью пересекающимися каналами.



Альтернативой может быть использование наддува.

На уровне моря давление воздуха составляет 101,4 кПа. Следовательно, в двигателе, когда поршень движется вниз в цилиндре, создается разрежение. Так как впускной клапан в это время открыт, воздух под давлением 101,4 кПа попадает в полость, созданную при опускании поршня. В некоторых двигателях с высокими техническими характеристиками цилиндр будет полностью заполняться воздухом. Это называется стопроцентной объемной производительностью, так как плотность воздуха (или уровень концентрации) будет такой же, как и вне двигателя, то есть давление в двигателе будет равным давлению окружающей среды (см. рис. 1.1).

2. Уроки истории

Наверно, потому, что мы живем в обществе, которое хочет «иметь все и сейчас», многие стараются следовать принципу: «Не думайте о том, где вы были, — сосредоточьтесь на том, куда вы идете». Это философия не очень дальновидных людей, особенно если речь идет о технологиях. Я давно заметил, что, поглядывая время от времени в зеркала заднего вида, можно избежать опасной ситуации. Не стоит тратить время и силы, чтобы снова изобрести велосипед. Лучше следовать другому принципу: «Учитесь на ошибках и успехах других». Не тратьте время и деньги, совершая те же ошибки, которые уже были сделаны до вас, и попадая в те же самые типичные ситуации. Не мешало бы также обращать внимание на успехи других (как в прошлом, так и в настоящем). Спросите у этих людей, почему они решили действовать именно так, узнайте все «за» и «против». Если вы сосредоточитесь на том, чтобы идти к намеченной цели путем наименьшего сопротивления, вряд ли преуспеете. Не стоит торопиться, продумайте каждый свой ход, принимая во внимание все возможные трудности. Таким образом, если что-то пойдет не так, вы всегда сможете понять, почему так произошло, и найдете выход из сложившейся ситуации.

Конечно же, лучший способ извлечь полезные уроки, — совершив экскурс в историю. На многих она наводит скуку, однако история наддува действительно захватывающая. Узнав ее, вы будете уважать достижения и открытия прошлого, которые были сделаны в далеко не самых приятных обстоятельствах. Имея это в виду, вы освободитесь от предубеждения, что «устаревшие технологии» ни на что не годятся, к тому же уже не так охотно будете верить, что новые технологии всегда совершенны.

История компрессоров с приводом началась в XIX веке. Менее чем через 20 лет после создания первого четырехтактного двигателя внутреннего сгорания, в 1896 году, Рудольф Дизель представил свою конструкцию компрессора с приводом. Идея использовать отработанные газы для приведения компрессора в действие появилась через 10 лет. Доктор Альфред Буши зарегистрировал патент конструкции, которая впоследствии стала предшественницей турбокомпрессора.



Рис. 2.1. Центробежный нагнетатель.

Гоночные автомобили с нагнетателями

Первые нагнетатели, или компрессоры с механическим приводом, были центробежного типа (см. рис. 2.1) и приводились в действие посредством шестерен от края коленвала

или посредством приводного ремня от маховика, вращаясь со скоростью, в пять раз превышающей частоту вращения двигателя. К 1910 году гоночные автомобили, предназначенные для гонок по пересеченной местности на расстояние более 320 км, могли перемещаться со скоростью более 160 км/ч.

Вскоре началась война. Сначала распространение получили нагнетатели Рутс (см. рис. 2.2), история которых началась в 1848 году. Эти нагнетатели устанавливались на боевые самолеты, но вскоре на смену им пришли более эффективные центробежные нагнетатели. Компания Rolls-Royce продолжила развивать последние для авиационных двигателей, в конце концов, они стали представлять собой сложную конструкцию, состоящую из привода с тремя передаточными числами, подсоединенного к двухэтапному нагнетателю.

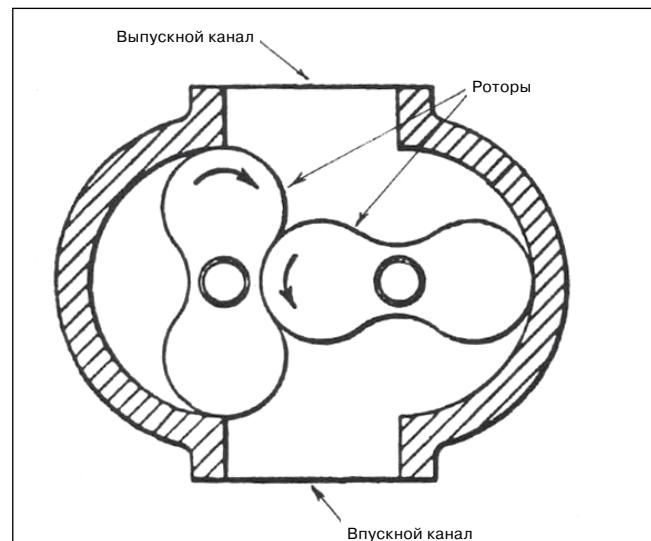


Рис. 2.2. Нагнетатель Рутс.

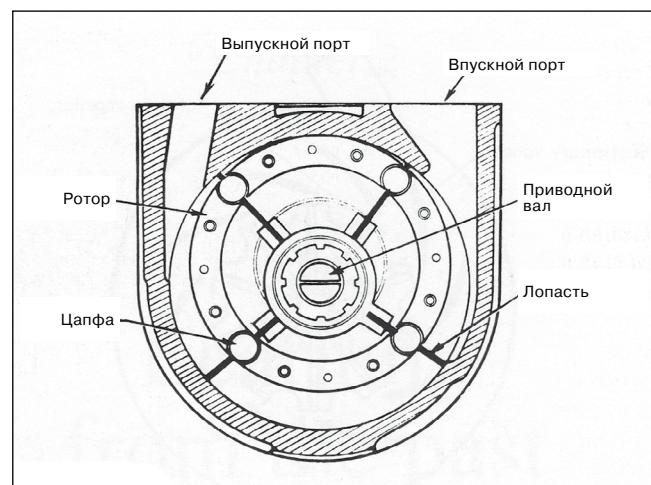


Рис. 2.3. Лопастной нагнетатель

В 1921 году специалисты компании Mercedes установили нагнетатель на спортивный автомобиль с четырехцилиндровым двигателем с двумя распределителями объемом 1,5 л, подготовлив его для соревнований Targa Florio. Они выбрали нагнетатель Рутс с рабочим давлением наддува 0,48 бар. Тем не менее, интересен тот факт, что посредством конической муфты нагнетатель приводился в действие только при полностью открытой дроссельной заслонке.

3. Турбокомпрессоры: прошлое и настоящее

Как упоминалось в начале предыдущей главы, история турбокомпрессоров началась в 1905 году. В 1917 году Огюст Рато начал экспериментировать с турбокомпрессорами для самолетов французской авиации. Год спустя в США компания General Electric также начала работы в этой же области. К 1923 году компания Brown Boveri сконструировала первые нагнетатели, приводившиеся в действие отработанными газами и названные «турбокомпрессорами», собираясь запустить их в серийное производство. В 1925 году Бюши установил, что раздельная подача отработанных газов в распределенные камеры увеличивает эффективность турбокомпрессора.

Ранние исследования в области турбокомпрессоров были в основном ориентированы на дизельные двигатели, так как более высокие температуры отработанных газов бензиновых двигателей приводили к быстрому выходу из строя турбины. Однако компания General Electric не сдавала позиции, и к началу Второй мировой войны такие знаменитые американские самолеты, как B-17 Flying Fortress, Liberator P38, Lightning B24 и Thunderbolt P47, успешно работали с турбокомпрессорами GE при температурах до 800 °C при частоте вращения 22000 об/мин. Когда реактивные двигатели начали играть важную роль в авиации, многие решили, что это станет концом эры поршневых двигателей и турбокомпрессоров. На самом деле получилось наоборот. Развитие высокотехнологичных сплавов, которые были устойчивы к усталостным нагрузкам, термостойки и достаточно легки для использования на реактивных двигателях, позволило быстро усовершенствовать турбокомпрессоры. Применение подобных материалов и производственных процессов позволило производителям увеличить надежность турбокомпрессоров, а также сократить длительность турбоям и оптимизировать интенсивность потока воздуха.

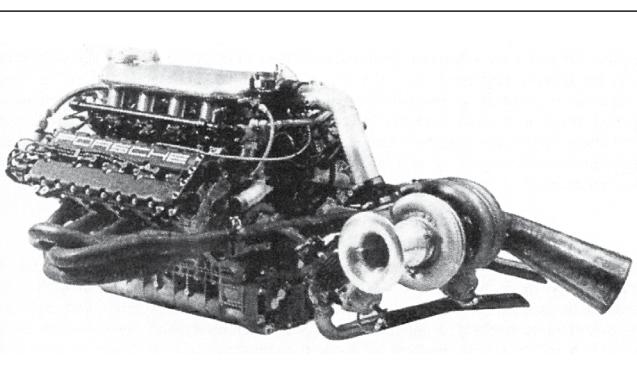
Турбокомпрессоры на овалах и традиционных кольцевых гонках

В 1952 году первый гоночный автомобиль с турбокомпрессором участвовал в гонках Indianapolis 500, и это был дизельный двигатель! В следующее десятилетие популярность турбокомпрессоров возрастила, и более 30 лет, пока не произошли некоторые организационные изменения, знаменитый «Брикъяд» сотрясался от шума турбированных двигателей. В памяти навсегда запечателились Offenhauser и Cosworth Ford. До введения ограничений давления наддува автомобили Offenhauser с четырехцилиндровыми двигателями объемом 2,61 л в 1978 году развивали мощность более 800 л.с. на метаноле со степенью сжатия 8,1:1 и давлением наддува до 3,1 бар без промежуточного охладителя. К концу 1980-х годов двигатели Porsche V8 объемом 2,65 л развивали мощность 700 л.с. при давлении наддува всего лишь 0,7 бар со степенью сжатия 9,5:1. Десять лет спустя ограничения давления наддува стали еще жестче (всего 0,4 бар), но даже в таких условиях двигатели компании Honda, например, развивали мощность более 900 л.с. Через несколько лет подобные двигатели развивали такую же мощность даже при более низком давлении наддува — 0,38 бар на овалах и стандартных кольцевых гонках и 0,2 бар на суперспидвеях, при этом промежуточное охлаждение все еще было запрещено. Конечно же, речь шла об увеличении

мощности, а не о более точной настройке давления наддува! Ближе к концу 2001 года допустимое давление наддува было понижено до 0,14 бар, чтобы ограничить скорость автомобилей.

В начале 1970-х годов компания Porsche попыталась использовать турбокомпрессоры в спортивных автомобильных гонках, сначала в серии Can-Am, а позже и в гонках Le Mans. Модель 917 с двигателем 5,4 л имела мощность 1200 л.с. в 1974 году. Но на самом деле быстрому развитию конструкции турбокомпрессоров и расширению сферы их применения способствовали гонки «Формулы-1» в 1977 году, в которых участвовал автомобиль с турбированным двигателем компании Renault. Первая попытка была не слишком удачной, но даже при этом небольшой турбированный двигатель V6 объемом 1,5 л и мощностью 500 л.с. не мог пройти незамеченным. Компания Renault обнаружила большое количество проблем, которые еще предстояло решить. И эти проблемы до сих пор решены не в полной мере. Охлаждение впускного заряда и двигателя были главными из них, но нельзя было забывать и о турбоямах, контроле подачи питания и опережении зажигания. К 1981 году автомобиль компании Ferrari с двигателем V6 и автомобиль компании Toleman с четырехцилиндровым двигателем Брайана Харта вступили в борьбу. В 1982 году появился еще один соперник — автомобиль компании BMW с четырехцилиндровым двигателем, после него — автомобиль компании Alfa Romeo с двигателем V8, автомобиль компании Honda с двигателем V6, а также автомобиль TAG компании Porsche с двигателем V6 в 1983 году. Немного позже, в 1985 году, в борьбу включились автомобили с двигателем V6 компании Motori Moderni, в 1986 году — автомобили с двигателем V6 Cosworth Ford, а в 1987-м компания Alfa Romeo выпустила еще одну модель с четырехцилиндровым двигателем и двойным турбокомпрессором.

Высокие мощности той эпохи стали легендарными после заявления о том, что большая часть команд «Формулы-1» во время гонок ограничивала предельную мощность двигателей до 750 л.с. Однако во время квалификационных заездов, когда не нужно было ограничивать расход топлива и позволялось использовать давление наддува более 4,5 бар, уже в 1987 году мощность могла достигать 1200 л.с. (пусть даже и в течение нескольких секунд) у команд, которые использовали двигатели компаний BMW, Honda и Ferrari. С разрешенными типами топлива длинноходный автомобиль RF15 компании Renault обладал такой же мощностью еще за год до этого.



Двигатель Porsche V8 Indy.

4. Закись азота: от истоков до наших дней

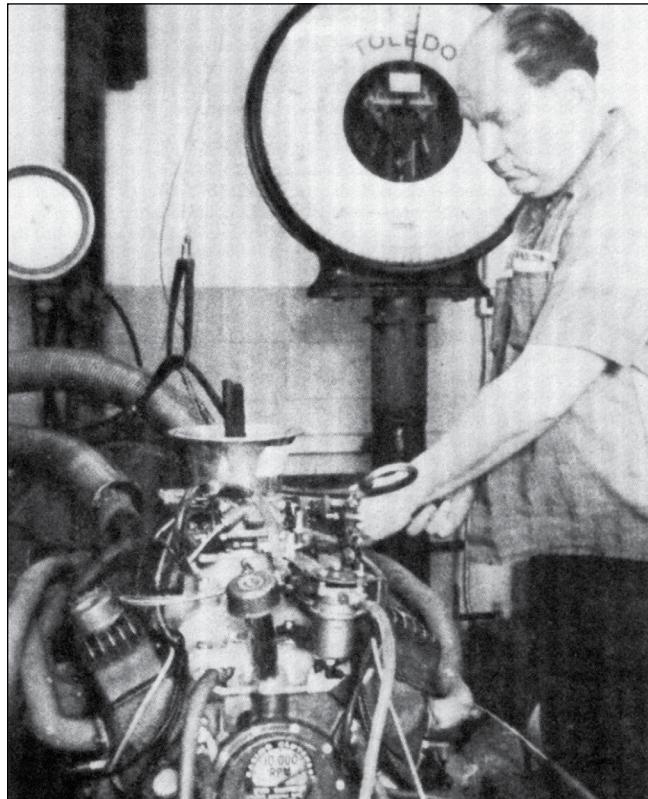
По сравнению с другими типами наддува впрыск закиси азота относительно малоизвестен. Впервые этот тип наддува был описан военными авиаконструкторами в последние годы Второй мировой войны. Однако история закиси азота (N_2O) началась еще в 1772 году, когда это соединение было описано Джозефом Пристли. Полвека спустя у него были обнаружены свойства анестетика, однако только через сто лет знаменитый английский конструктор двигателей внутреннего сгорания сэр Гарри Риккардо кратко отметил в своих трудах эффект впрыска закиси азота в воздушные каналы карбюратора работающего двигателя.

После войны интерес военной авиации к мощным поршневым двигателям угас, и, казалось, все накопленные знания и опыт по использованию закиси азота канули в Лету. Конечно же, некоторые пилоты и авиационные инженеры время от времени проявляли поверхностный интерес к впрыску закиси азота, однако его первое зарегистрированное использование в 1956 году приписывают американскому гонщику и гуру инженерного дела Смоки Юнику. В «черновом» варианте система, установленная на автомобиле в заводском исполнении Hudson Hornet, состояла из баллона с закисью азота, закрепленного под водительским сиденьем, и отрезка шланга, подсоединеного к карбюратору. После неудачных экспериментов с несколькими двигателями Смоки Юник понял, как регулировать поток газа и его впрыск в карбюратор. Позже, во время квалификационных заездов, устанавливался карбюратор с подходящим обогащенным впрыском, а шланг с закисью азота крепился к впускному воздушному отверстию. Во время борьбы за лучшее время на круге водитель под сиденьем проворачивал вентиль на четыре оброта, что гарантировало, что его автомобиль придет первым к финишу. Через некоторое время, конечно же, другие гонщики поняли, что впечатляющее увеличение скорости автомобиля связано с каким-то хитрым трюком. В 1985 году на гонках NASCAR правила изменились, и закись азота на время исчезла.

Возвращение закиси азота

В 1962 году в Калифорнии Рон Хамел занимался модификацией двигателей на основании записей сэра Гарри Риккардо. Хамел работал на компанию со специальными стендами для двигателей, поэтому в течение следующих нескольких лет он смог точно зафиксировать влияние закиси азота на мощность двигателя. Записи Риккардо по данной теме были достаточно скучными, поэтому Хамела можно по праву считать пионером в исследовании и описании точного влияния закиси азота на оптимизацию технических характеристик двигателя. К 1969 году он накопил все необходимые знания и разработал надежные системы подачи для установки систем впрыска закиси азота на двигатели гоночных автомобилей (см. рис. 4.1).

Вначале эти системы скрывали под видом огнетушителей во многих автомобилях для дрэг-гонок и даже гонок серии NASCAR. Конечно же, закись азота увеличивала мощность только на короткий промежуток времени (Риккардо установил, что 2 кг жидкой закиси азота увеличивали мощность на 100 л.с. на одну секунду), поэтому как будто была создана для дрэг-гонок. Однако Смоки Юник установил намного раньше, что закись азота может быть очень полезной в кольцевых гонках, особенно во время квалификационных заездов. Это



Рон Хамел стал первопроходцем в разработке системы впрыска закиси азота.

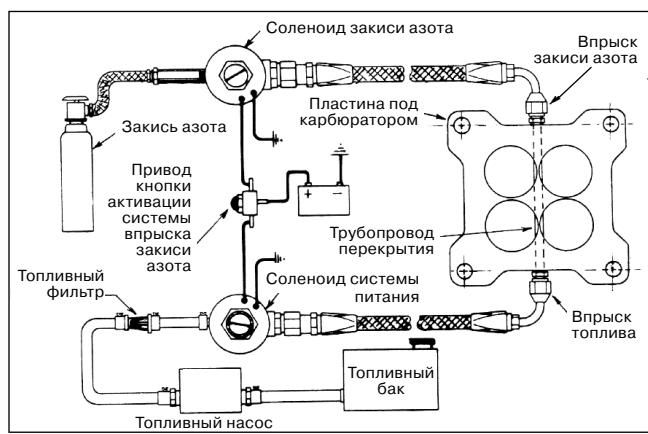


Рис. 4.1. В ранних системах впрыска закиси азота дополнительное топливо и закись азота доставлялись через трубопроводы перекрытия, установленные в пластину, которая располагалась между четырехкамерным карбюратором и впускным коллектором.

также помогало превратить попытки обгона в настоящий обгон. Так как все больше гонщиков начинали применять баллоны с газом, жажда скорости провоцировала их использовать большие дозы закиси азота, что приводило к большому количеству повреждений двигателей. К 1976 году команды с более слабым финансированием начали терпеть убытки, поэтому распустили слухи об использовании закиси азота.

5. Наддув: теория и основные принципы

Многие люди ненавидят заниматься физикой или математикой. Но, нравится нам это или нет, мы окружены физическими законами, которые влияют на нашу повседневную жизнь. Некоторые из этих законов мы можем попросту не замечать, но другие постоянно напоминают нам о своем существовании. Взять, к примеру, закон гравитации или цикл смены дня и ночи по мере вращения Земли вокруг Солнца. Сейчас нам не нужно знать все физические законы, чтобы выжить, но при наличии определенных знаний вы сможете лучше понимать принцип функционирования этих законов, что впоследствии позволит вам эффективнее их использовать.

То же касается и наддува. Если мы узнаем правила, установленные физическими законами, мы сможем использовать их, чтобы повысить эффективность механизмов. Если по какой-либо причине вам пришлось действовать против законов природы, вы сможете предпринять соответствующие меры предосторожности, чтобы избежать серьезных повреждений двигателя.

Понятие плотности

Первый принцип, с которым нам предстоит разобраться, состоит в том, что плотность воздуха не является постоянной величиной. На уровне моря плотность воздуха на 35% выше, чем на высоте 3048 м над уровнем моря. Поэтому часто говорят, что на большой высоте воздух разрежен, так как молекулы газа расположены на большем расстоянии. Из этого можно сделать вывод, что воздух весит меньше на высоте: плотность воздуха на уровне моря составляет 1,225 кг/м³, а на высоте 3048 м — 0,905 кг/м³.

Отталкиваясь от этого принципа, можно предположить, что цилиндры двигателя объемом 3,0 л можно заполнить 3 л воздуха на уровне моря и на высоте 3048 м, однако на высоте эти 3 л воздуха будут содержать меньше кислорода (примерно на 26%), а значит, мощность двигателя будет ниже. В целом эмпирическое правило гласит, что мощность будет уменьшаться каждые 305 м.

Однако высота — далеко не единственный фактор, который влияет на плотность воздуха. При высокой температуре

ре воздух расширяется, следовательно, на уровне моря при температуре 40 °C воздух будет обладать меньшей плотностью, чем при температуре 5 °C. Поэтому двигатель будет развивать меньшую мощность, работая с горячим воздухом, чем при работе с холодным. Другое эмпирическое правило состоит в следующем: мощность будет уменьшаться на 1% с увеличением температуры воздуха на каждые 7 °C.

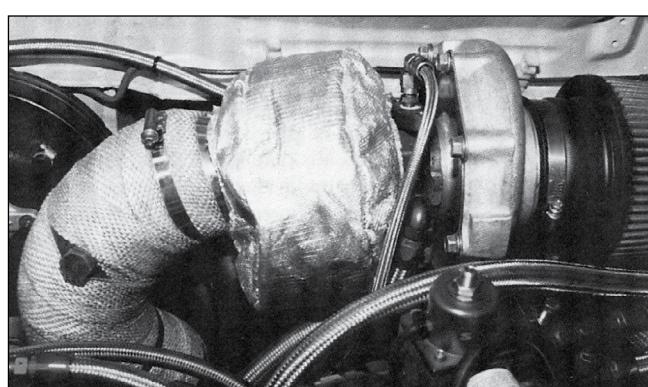
Таблица стандартного атмосферного давления

Высота, м	Давление воздуха, мбар	Температура, °C	Плотность, кг/м ³	Относительная плотность
Уровень моря	1013	15,0	1,225	1,000
305	977	13,0	1,189	0,997
610	942	11,1	1,156	0,993
914	908	9,1	1,144	0,989
1219	875	7,1	1,090	0,986
1524	843	5,1	1,058	0,982
1829	812	3,1	1,024	0,979
2134	782	1,2	1,093	0,975
2438	753	-0,8	0,962	0,972
2743	724	-2,8	0,933	0,969
3048	697	-4,8	0,905	0,965
3353	670	-6,8	0,876	0,962
3658	644	-8,8	0,849	0,958
3962	620	-10,7	0,822	0,954
4267	595	-12,7	0,797	0,951
4572	572	-14,7	0,773	0,947

Влияние влажности на давление

Температура, °C	Относительная влажность, %									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
10	1	2	4	5	6	7	9	10	11	12
20	2	5	7	9	12	14	15	19	21	23
25	3	6	10	13	16	19	22	25	29	32
30	4	8	13	17	21	25	30	34	38	42
35	6	11	17	22	28	34	39	45	51	56
40	7	15	22	30	37	44	52	59	56	74
45	10	19	29	38	48	57	67	77	86	96
50	12	25	37	49	62	74	86	99	111	123

Влажность влияет на плотность воздуха по-другому. Высокая влажность (высокое содержание влаги в воздухе) увеличивает давление. Однако при этом плотность воздуха становится ниже, так как общая масса воздуха и воды снижается, что не делает плотность воздуха выше. В принципе, это не слишком значимый фактор. Но высокая влажность при высокой температуре действительно снижает содержание кислорода в воздухе, что влияет на снижение мощности двигателя. Например, при относительной влажности 65% и температуре воздуха 35 °C на уровне моря содержание кислорода сократится до уровня 305 м над уровнем моря.



Чехол на корпусе турбины и обмотка на сливном трубопроводе турбокомпрессора предназначены для термоизоляции впускного канала, чтобы увеличить плотность впускного заряда. Прохладный воздух поступает в воздушный фильтр через большой воздухозаборник на капоте.

6. Что необходимо знать о турбокомпрессорах

Если вы посмотрите поближе на турбокомпрессор или сможете подержать его в руках, окажется, что это действительно простое устройство. В действительности по сравнению со всеми теми проводами, шлангами, реле, датчиками и т.д., которыми оснащен современный двигатель, его основные механические аспекты достаточно просты. При этом турбокомпрессор в турбированном двигателе выполняет ту же роль, что и один кулачок распредвала, определяющий основные характеристики и природу атмосферного двигателя. Ошибка при выборе распредвала может сделать автомобиль просто ужасным в управлении как в условиях городского движения, так и на гоночном треке. То же можно сказать и о выборе турбокомпрессора.

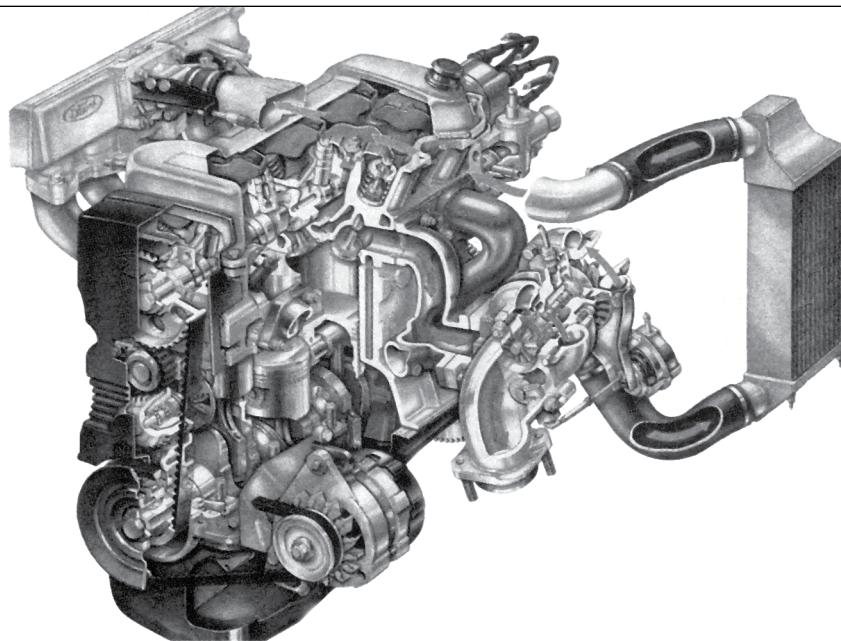
Первая волна «модифицированных» двигателей, в которых турбокомпрессор просто был закреплен при помощи болтов, стала настоящим разочарованием. При открытии дроссельной заслонки при частоте вращения 3000–4000 об/мин ничего не происходило, казалось, все свечи зажигания были залиты топливом. Затем, при некотором увеличении давления наддува, автомобиль срывался с места с немоверной мощностью, что рассстраивало и настораживало больше всего. Управление автомобилем с установленным турбокомпрессором на извилистой дороге было настоящим кошмаром. Это было 35 лет назад, когда турбокомпрессоры впервые вошли в моду на гоночных автомобилях. Механики не слишком хорошо разбирались в новой технологии, но при этом пытались применить даже крупицы знаний, полученных на гоночном треке, на автомобилях, использующихся в условиях городского движения. Не сработало! Спустя 20 лет многие производители автомобилей начали собственные исследовательские проекты, результатом которых стало создание меньших и более легких турбокомпрессоров и совместимых систем управления двигателем, которые теоретически устранили проблему турбоям. Большинство автомобилей с турбированными двигателями нового поколения обеспечивают приятное и комфортное вождение, но

после нескольких неудачных модификаций они снова могут превратиться в летающих чудовищ быльих времен. Поэтому перед установкой турбокомпрессора или перед выполнением каких-либо модификаций на заводском турбированном двигателе необходимо хорошо разобраться в предмете, чтобы избежать проблем с управляемостью автомобиля в будущем.

Как турбокомпрессоры увеличивают мощность на выходе

Достаточно просто понять, почему турбокомпрессор увеличивает потенциал двигателя внутреннего сгорания. По сути, мощность, которую вырабатывает двигатель,— это количество топливовоздушной смеси, которое он может втянуть и сжечь. Турбокомпрессор — это система наддува, которая нагнетает в цилиндры намного большее количество топливовоздушной смеси, чем может втянуть атмосферный двигатель. При стопроцентном наполнении коэффициента цилиндра и нулевом разрежении коллектора цилиндр объемом 500 см³ будет заполнен 500 см³ топливовоздушной смеси той же плотности, что и атмосфера, из-за эффекта стандартного давления воздуха (1,014 бар на уровне моря). Теоретически, если давление наддува на впуске выше атмосферного на 0,5 бар, цилиндр будет заполняться топливовоздушной смесью, плотность которой будет выше на 50%, поэтому двигатель будет работать так, как будто его объем на 50% больше.

Вы знаете, конечно же, что при сжатии воздуха повышается температура, что теоретически снижает мощность. Однако при эффективном охлаждении заряда мы можем охладить воздух до того, как он попадет в двигатель. Это позволяет увеличить мощность до 40% при давлении наддува 0,5 бар (см. рис. 6.1).



Двигатель автомобиля Ford RS Escort имел мощность 132 л.с. при давлении наддува 0,5 бар.

7. Управление давлением наддува турбокомпрессора

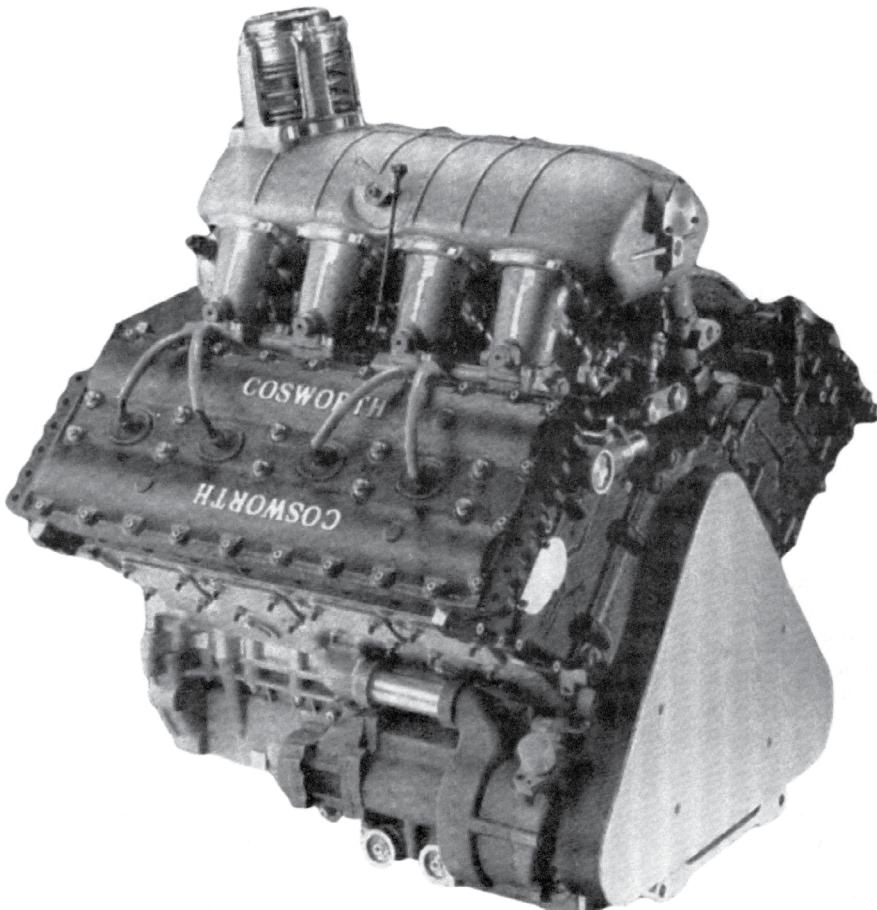
Существует несколько причин, по которым давление наддува турбокомпрессора должно быть ограничено. Первой и самой главной причиной является предотвращение детонации (см. главу 17), а также, как мы говорили в предыдущей главе, предотвращение повреждения керамического турбинного колеса. Можно также сказать о необходимости предотвращения серьезных повреждений двигателя, но, конечно же, незначительное увеличение давления не приведет к удлинению болтов крепления головки блока цилиндров, повреждению поршней, шатунов и коленвала. Обычно причиной этих повреждений является неконтролируемое горение (раннее зажигание или детонация) или слишком высокая частота вращения двигателя и мощность.

Другой причиной для управления наддувом является контроль тягового усилия. При слишком высоком давлении наддува крутящий момент на ведущих колесах может быть настолько высоким, что контролировать пробуксовку будет практически невозможно, особенно на низких передачах на мокрой или покрытой грязью дороге. В подобных обсто-

ятельствах ограничение давления наддува обеспечивает более безопасное и быстрое перемещение вперед. Также управление давлением наддува позволит обеспечить прочность компонентов трансмиссии.

Следующей причиной управления давлением наддува является обеспечение максимальной эффективности компрессора, чтобы предотвратить перегрев впускного заряда. Высокая температура впускного заряда способствует снижению мощности двигателя, а также может вызвать детонацию. Впускной заряд с более низкой температурой позволит увеличить угол опережения зажигания, что приведет к увеличению мощности, оптимизации технических характеристик и снижению расхода топлива.

В качестве еще одной причины можно назвать ограничения давления наддува до определенного значения, зафиксированные в правилах некоторых соревнований. Обычно это делается с целью уравнять шансы всех команд. К сожалению, благодаря хитрости и изобретательности многие участники обходят эти правила и слегка увеличивают давление наддува.



Двигатель Cosworth CART Champ с большим продувочным вентилем, установленным на приточную вентиляцию, чтобы ограничить давление наддува в соответствии с правилами гонок.

8. Стратегия предотвращения турбоям в турбокомпрессорах

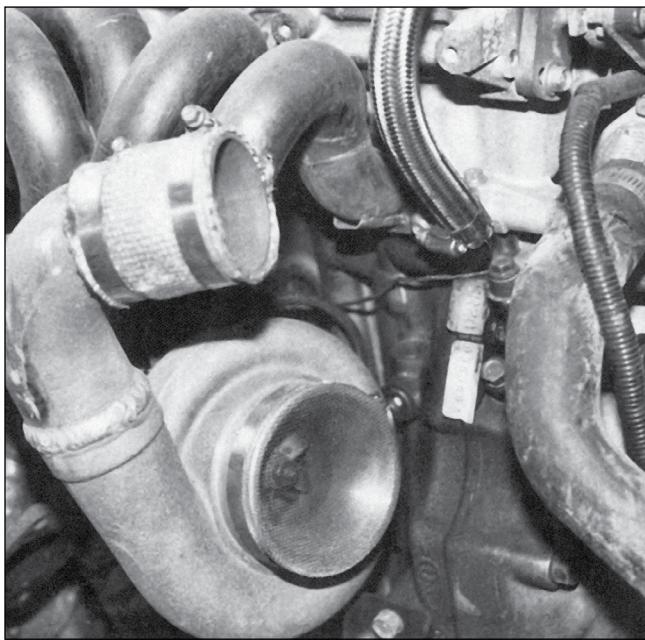
Существует только один фактор, благодаря которому надув при помощи нагнетателя превосходит надув посредством турбокомпрессора. Конечно, в наши дни проблема турбоям стоит не так остро, как раньше, во многом благодаря использованию электронных систем впрыска топлива и управления двигателем, а также передовыми технологиями создания турбокомпрессоров. Но турбированные двигатели все равно в некоторой степени подвержены эффекту турбоям. При стандартных настройках большая часть автомобилей, оснащенных турбированными двигателями, не подвержена возникновению турбоям, хотя есть несколько ярких исключений. Однако, как только мы отходим от заводского исполнения, перед нами открывается простор для модификаций, успех которых может быть омрачен наличием турбоям. По-моему, многие в погоне за внушительными цифрами мощности не совсем понимают, что максимальной мощности может быть недостаточно и даже при наличии давления наддува реакция дроссельной заслонки может быть замедлена. Следовательно, на среднем гоночном круге или на бетонированных площадках автомобиль, оснащенный турбированным двигателем, должен обладать мощностью по крайней мере на 30% выше, чтобы сравняться с идентичным атмосферным двигателем, а во многих гонках по пересеченной местности и небольших кольцевых гонках ситуация еще хуже. Добавьте к этому тот факт, что водителю автомобиля с турбированным

двигателем необходимо обладать большим количеством навыков, концентрация всегда должна быть на высоком уровне, а усталость водителя может сыграть с ним злую шутку.

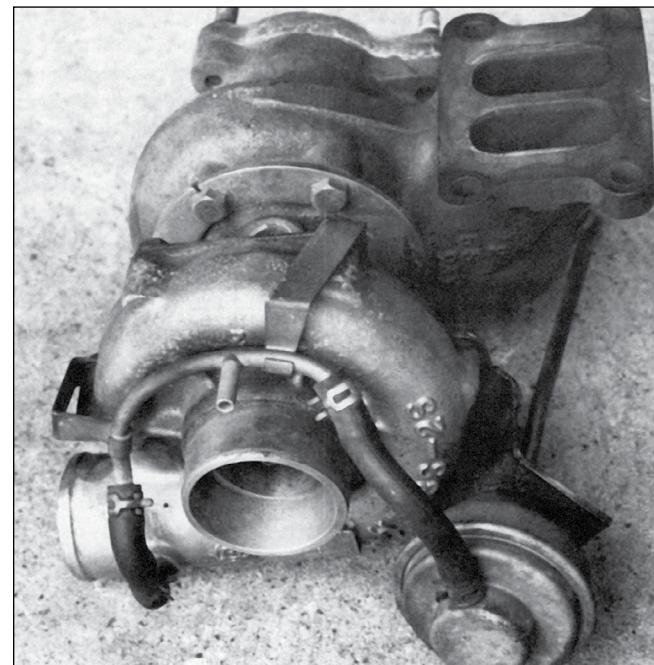
Если мы готовим двигатель для участия в соревнованиях или двигатель для мощного легкового двигателя, достаточно сложно будет избежать турбоям. Однако их появление во многом будет зависеть от того, какой выбор вы сделаете по четырем важным параметрам. Вот эти четыре параметра:

- выбор комплектующего оборудования для двигателя;
- требования по точной настройке подачи топлива и системы зажигания;
- передаточные отношения коробки передач и механизм переключения передач;
- размер турбокомпрессора и его конструкция.

В главе 3 мы рассматривали системы предотвращения образования турбоям, которые часто используются в гоночных двигателях, поэтому сейчас не будем останавливаться на них подробно. Напомню лишь, что из-за высокого уровня токсичности выхлопных газов и слишком высоких рабочих температур турбокомпрессора они не используются в легковых автомобилях. Что касается гоночных автомобилей, эта информация пригодится только тем, кто может позволить себе подходящие турбокомпрессоры с очень дорогими турбинными колесами и относительно коротким сроком эксплуатации между капитальными ремонтами.



Установка большого турбокомпрессора на небольшой двигатель является прямой дорогой к нестабильной работе двигателя при низкой частоте вращения, а также в условиях городского движения при ежедневной эксплуатации.



Турбокомпрессор с разделенным импульсом раскручивается быстрее, эффективнее используя поток выхлопных газов при низкой частоте вращения двигателя.

9. Что необходимо знать о турбокомпрессорах

Многие нагнетатели попадают в категорию объемного типа, однако чаще их называют нагнетателями Рутс. Нагнетатель объемного типа перемещает определенный объем воздуха из нагнетателя в двигатель при каждом обороте, который он совершает. Поэтому, если мы установили нагнетатель объемом 100 см³ на двигатель объемом 1500 см³ и заставили его вращаться со скоростью в 1,5 раза выше частоты вращения двигателя, нагнетатель теоретически будет перемещать воздух объемом 1500 см³ в двигатель при каждом обороте двигателя. Так как четырехтактные двигатели заполняют только половину своих цилиндров при каждом обороте, 750 см³ в данном случае, нагнетатель будет поставлять двойной объем воздуха, необходимого двигателю. Поэтому теоретически давление наддува на уровне моря будет составлять 1,014 бар.

Технические характеристики кулачков распределителя влияют на давление наддува

На практике все будет совсем не так. При низкой частоте вращения двигателя утечка между роторами, а также между роторами и нижним картером будет намного значительнее. К тому же длительность открытия клапанов и угол перекрытия также будут оказывать некоторое влияние. В заводском исполнении угол перекрытия кулачков достаточно маленький, поэтому при низкой частоте вращения двигателя только небольшая часть впускного заряда будет выходить через открытый до сих пор выпускной клапан. Однако кулачки гоночных автомобилей могут иметь угол перекрытия до 100°, а выпускной и впускной клапаны, возможно, будут открыты на 6–8 мм в верхней мертвой точке, большая часть нагнетенного воздуха будет выходить через выпускной клапан при низкой частоте вращения двигателя.

При высокой частоте вращения двигателя ситуация изменится. Утечка все равно будет иметь место в нагнетателе, но эта утечка по сравнению с увеличением объема воздуха в нагнетателе будет на самом деле уменьшаться. То же самое будет происходить во время периода перекрытия клапанов. Импульсы давления, образующиеся во впускном и выпускном каналах, будут ограничивать попадание впускного заряда в систему выпуска отработанных газов. Меньшее количество впускного заряда означает увеличение давления в цилиндрах и впускном коллекторе, а указатель давления наддува расценивает этот сигнал в качестве увеличения давления наддува.

Что это значит на практике для нашего двигателя объемом 1500 см³? На самом деле технические характеристики кулачков распределителя будут играть главную роль в определении давления наддува после выбора передаточного числа нагнетателя. В данном примере давление наддува может приблизиться к теоретическому значению 1,0014 бар при частоте вращения 6000–7000 об/мин с оригинальным распределителем, но вероятнее, что оно будет на 0,07–0,1 бар ниже. При использовании распределителя для гоночных автомобилей вряд ли давление наддува увеличится до 0,76 бар, более того, оно может снизиться до 0,55 бар (эмпирическое правило гласит, что давление наддува будет уменьшаться примерно на 4–5% от абсолютного значения при увеличении угла пере-

крытия клапанов на 10°). Верхняя кривая на рис. 9.1 отображает давление наддува, которое будет в нашем двигателе объемом 1500 см³ при использовании распределителя с гоночного автомобиля. Для сравнения на графике также показано давление наддува для того же нагнетателя объемом 100 см³ с увеличением частоты вращения на 15% и 37% по отношению к частоте вращения двигателя.

Многие из вас могут прийти к поспешному выводу, что кулачки с закругленным профилем больше подходят для двигателей, оснащенных нагнетателями, так как мы хотим увеличить давление наддува. Как уже говорилось в предыдущих главах, значение давления наддува можно считать скорее нечетким указанием, если говорить о потенциале технических характеристик двигателя. Если нагнетатель приводится в действие при высокой частоте вращения или высоком давлении наддува, его эффективность падает. Температура воздуха повышается. Увеличение температуры означает снижение плотности впускного заряда, который попадает в цилиндры. Чтобы понять, к чему я веду, представьте, что мы заполнили стальной цилиндр воздухом, закрыли отверстие и нагреваем цилиндр до температуры на 100 °C выше температуры окружающей среды. Давление в цилиндре увеличится с 0 до 0,34 бар! И хотя внутри количества воздуха не увеличивалось, давление возросло просто из-за увеличения температуры. Если мы используем кулачки распределителя с закругленным профилем, ситуация будет примерно такой же, но, чтобы лучше понять, давайте посмотрим на двигатель с одним цилиндром. При использовании кулачка с закругленным профилем впускной клапан закрывается слишком рано, поэтому воздуху, вышедшему из нагнетателя, некуда деться. Он остается между нагнетателем и задней частью впускного клапана, поэтому давление наддува будет возрастать. По мере увеличения давления воздух пытается вернуться обратно в нагнетатель, не выпуская следующие порции воздуха, которые должны направляться в двигатель (подумайте о поднимающейся волне, которая сдерживает поток реки при впадении в океан). Этот конфликт снижает эффективность компрессора и поднимает температуру впускного заряда. Впускной заряд с более высокой температурой уменьшает плотность в цилиндрах, следовательно, вероятность возникновения детонации и снижение мощности.

С кулачками с гоночного двигателя цилиндры имеют больше времени, чтобы поглотить заряд из нагнетателя. Это означает, что давление наддува падает, так как большее количество воздуха из нагнетателя попадает в цилиндр, а не остается во впускном канале около клапана. Поэтому в момент закрытия впускного клапана давление в цилиндре намного точнее отражает реальное давление наддува, то есть при использовании кулачков с закругленным профилем давление в цилиндрах будет намного ниже, чем давление наддува.

Ситуация с потерями впускного заряда при использовании кулачков с менее закругленным профилем во время периода перекрытия двоякая. Конечно же, топливо будет проходить прямо в систему выпуска отработанных газов. Также при низкой частоте вращения мощность двигателя сократится, так как часть заряда, выходящего из нагнетателя, будет проходить через выпускной клапан, не вырабатывая мощность. Не забывайте, что нагнетатель потреблял мощность, нагнетая воздух в двигатель, поэтому потери мощности удваиваются. Однако все не так уж плохо, потому что при

10. Охлаждение впускного заряда

Более правильный с технической точки зрения термин «охлаждение впускного заряда» был заменен общепринятым термином «промежуточное охлаждение», хотя многие могут со мной поспорить, доказывая, что последний термин более правильный. Я все-таки считаю более точным определение «охлаждение впускного заряда», хотя намного чаще использую термин «промежуточное охлаждение». Но независимо от того, какой термин вы используете, цель этого процесса — как можно больше понизить температуру впускного заряда, которая может увеличиться после прохождения воздуха через нагнетатели, во время чего его давление возрастает.

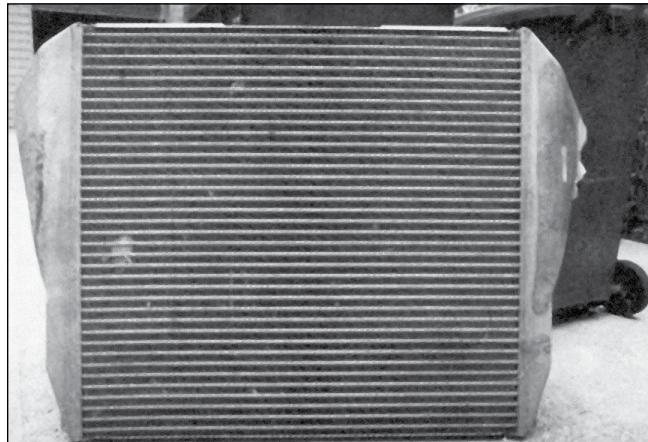
Как мы уже говорили в главе 5, что нам действительно нужно, так это высокая плотность впускного заряда в цилиндрах. Высокая плотность впускного заряда означает, что воздух обогащен кислородом. Когда мы добавляем топливо, чтобы получить соответствующую топливовоздушную смесь, мощность двигателя увеличивается. Следовательно, увеличение плотности впускного заряда на 30% обеспечит увеличение мощности двигателя на 30%.

Все формы наддува предназначены для увеличения плотности воздуха посредством увеличения давления воздуха, попадающего в цилиндры. К сожалению, при увеличении давления воздуха его температура увеличивается, и чем больше вы сжимаете воздух, тем выше становится его температура. Поэтому, даже если мы будем использовать очень эффективный центробежный компрессор, который устанавливается на турбокомпрессоры и центробежные нагнетатели, обеспечивающий давление наддува 1,014 бар (давление в два раза больше, чем атмосферное на уровне моря), мы не увеличим в два раза плотность впускного заряда в цилиндрах. Без охлаждения реальная плотность заряда увеличится примерно на 53%, и увеличение мощности также составит около 53%.

Именно тут особую важность приобретает промежуточное охлаждение. Если мы значительно понизим температуру, плотность впускного заряда увеличится, что приведет к соответственному увеличению мощности (есть и другие преимущества, о которых мы поговорим позже). К счастью, нам не нужно гадать, насколько возрастет мощность: мы можем узнать точное значение, выполнив простые расчеты.

Расчет плотности впускного заряда при использовании промежуточного охладителя

Например, предположим, что наш турбокомпрессор обеспечивает давление наддува 1,014 бар, и затем мы установим промежуточный охладитель с эффективностью 80%. Днем при температуре воздуха 25 °C впускной заряд на выходе из компрессора будет иметь температуру 118 °C, следовательно, температура поднимется на 93 °C (118–25 = 93). Промежуточный охладитель понизит температуру на 80%, то есть на 74,4 °C (93 × 0,8 = 74,4), поэтому температура впускного заряда составит 43,6 °C (93–74,4 + 25 = 43,6) на выходе из промежуточного охладителя.



Этот огромный воздушный промежуточный охладитель с грузовика был заменен по гарантии из-за незначительной трещины, а позже был куплен с целью утилизации вместе с некоторыми другими агрегатами. После утилизации он может послужить для создания трех или четырех небольших промежуточных охладителей.

Плотность заряда затем можно рассчитать по формуле:

$$Dc = \left\{ \frac{Dt + 273}{It + 273} \right\} - 1$$

где

Dc — плотность впускного заряда;

Dt — температура впускного заряда при выходе из компрессора, °C;

It — температура впускного заряда при выходе из промежуточного охладителя, (°C).

Следовательно,

$$Dc = \left\{ \frac{118 + 273}{43,6 + 273} \right\} - 1 = \left\{ \frac{391}{316,6} \right\} - 1 = 0,23$$

Это означает, что теоретически промежуточный охладитель увеличит плотность впускного заряда на 23%, но из-за потерь реальная мощность двигателя увеличится меньше чем на 23%. В действительности появится сопротивление потока вследствие турбулентности в промежуточном охладителе и связанных с ним воздуховодах. В плохо сконструированных системах с большим количеством изгибов трубопроводов и малоэффективным промежуточным охладителем давление наддува может даже сократиться на 20%. К тому же есть также естественное падение давления при охлаждении впускного заряда. Однако в качественных системах промежуточного охлаждения общие потери не должны превышать 10%. Поэтому, если давление наддува составляло 1,034 бар на выпускном отверстии компрессора, около впускного коллектора оно может составить примерно 0,9 бар. Конечно же, если компрессор может создавать большее давление наддува без потери эффективности, незначительную часть потерь можно компенсировать, отрегулировав перепускной клапан или передаточное число нагнетателя. Однако, конечно же, есть определенные лимиты, поэтому не стоит жадничать и даже не думайте об этом, если компрессор уже работает в диапазоне низкой эффективности графика производительности.

11. Впрыск воды и другие альтернативные решения

Впервые использование впрыска воды было зарегистрировано около 100 лет назад. Первопроходцем стал инженер из Венгрии по имени Бенки. Через 10 лет в Англии профессор Хопкинсон провел несколько испытаний на больших промышленных двигателях, а в 1920-х годах многие сельскохозяйственные тракторы уже были оснащены двигателями с системой впрыска воды. Однако именно сэр Гарри Риккардо всерьез занялся изучением воздействия впрыска воды на процесс горения и его преимущества и документально зафиксировал все результаты исследований в своей книге *High-Speed Internal Combustion*. Это было в начале 1930-х годов, а к 1936 году Риккардо получил несколько патентов на системы впрыска топлива, предотвращающие детонацию. Авиационные инженеры, стремившиеся установить рекорды высоты и скорости полета, быстро переняли его идеи. После начала Второй мировой войны высокотехнологичные системы впрыска воды использовались во многих военных самолетах с целью обеднения топливной смеси при давлении наддува, что обеспечивало дополнительную мощность и препятствовало возникновению детонации.

Подробнее о процессе горения мы поговорим в главе 17, а на данном этапе необходимо понять, что, когда скорость, с которой сгорает топливо, или скорость, с которой поднимается давление в цилиндре, выходит из-под контроля, топливовоздушная смесь взрывается. Это детонация. Мягкая детонация станет причиной повреждения прокладки головки блока цилиндров. При жесткой детонации могут быть повреждены поршни, поршневые кольца и стенки цилиндров, не говоря уже о повреждении подшипников, шатунов и коленвала. Следовательно, детонации нужно стараться избежать, но проблема состоит в том, что все меры, которые мы предпринимаем для увеличения мощности или снижения расхода топлива, неизменно приближают нас к возникновению детонации. На самом деле лишь тонкая грань отделяет быстрое контролируемое горение от детонации, и именно в этом диапазоне мощность будет максимальной, а расход топлива минимальным (в зависимости от того, с какой целью проводились модификации — для снижения расхода топлива или увеличения мощности).

Поэтому, чтобы избежать детонации, надо «затормозить» скорость горения и увеличения давления, но это должно быть «легкое нажатие на педаль», чтобы не сократить показатели мощности на выходе и расхода топлива. Этого можно добиться одним способом — увеличив сопротивление детонации, то есть октановое число топлива. Но тут тоже не обязательно все пойдет как по маслу. Например, использование топлива с высоким октановым числом будет обходиться дорого, а учитывая, что, возможно, двигатель нуждается в топливе с высоким октановым числом всего на протяжении 5% (а чаще 2–3%) времени движения, в этом нет смысла. К тому же появляется проблема покупки топлива с высоким октановым числом при перемещении по периферии. Если говорить о гоночных автомобилях, стоимость может не играть роли, если вы можете использовать топливо Avgas или этилированное топливо для гонок, однако чаще спецификации для неэтилированного гоночного топлива не указываются. Не-

этилированное топливо с высоким октановым числом может стоить в 10 раз дороже, чем топливо Avgas, поэтому, чтобы сократить расходы и предотвратить загрязнение окружающей среды, часто правилами гонок вводятся ограничения: разрешено использовать топливо с октановым числом не более 98 по исследовательскому методу, а это вряд ли поможет избежать детонации.

Интенсивность впрыска воды

Нам остается только впрыск воды, а также еще несколько альтернативных решений, о которых мы поговорим позже. Прежде всего нужно понять, что вода не горит. Техническим языком ее можно назвать антиприреном, в течение многих лет воду использовали для тушения пожаров. А это означает, что вода может потушить и пламя в двигателе! Однако, не говоря уже о том, что двигатель может заглохнуть, наличие воды во время горения может негативно сказаться на его мощности. Следовательно, впрыск воды — это не просто подача воды в двигатель. Если мощность является важным фактором, поток воды и атомизация должны точно контролироваться, чтобы поставлять в цилиндры строго определенное количество воды, необходимое для устранения детонации.

К счастью для тех, кто занимается производством кустарных систем впрыска воды, диапазон, в котором двигатель продолжает работать удовлетворительно, достаточно широк. Соответственно, так как двигатель может выдержать степень сжатия от 11:1 до 17:1, то же верно и для впрыска воды. Однако мы также знаем, как точные системы впрыска топлива влияют на двигатели, работавшие раньше на карбюраторах. Улучшения будут значительными, особенно в плане мощности на среднем диапазоне частоты вращения, при этом реакция дроссельной заслонки также изменится в лучшую сторону. Все это происходит потому, что в двигатель подается точно дозированное количество топлива.



Этот контроллер Edelbrock, который использовался одним из первых, позволял в некоторой мере контролировать интенсивность потока воды в зависимости от нагрузки двигателя и частоты вращения.

12. Топливо и топливные присадки

Топливо по большому счету до сих пор для многих остается загадкой. Многие гонщики и любители знают о бензине, метаноле и нитрометане очень мало. Им известно, что мощность двигателя будет выше при использовании метанола, и они понимают, что высокое октановое число позволит турбированному двигателю производить больше мощности без опасности возникновения детонации. Хотя те же «знатоки» посмеются над любым, кто скажет им, что существует около дюжины формул бензина с одинаковым октановым числом, при использовании которых мощность на выходе может варьироваться в пределах 5%, или даже что бензин с одной и той же химической формулой может обеспечивать более точную реакцию дроссельной заслонки.

Что означает октановое число топлива

Проблема заключается в том, что на протяжении многих лет нас заставляли верить в то, что октановое число — это измерение энергетического потенциала топлива. Все считали, что двигатель будет производить больше мощности при использовании топлива с октановым числом 110, чем при использовании топлива с октановым числом 102, а при использовании двух видов топлива с октановым числом 105 мощность будет одинаковой. И это в какой-то мере действительно так, но только в отношении устойчивости к детонации. По таким параметрам, как расход топлива, реакция дроссельной заслонки и мощность на выходе, различия будут ощутимыми.

Так как существуют некоторые неточности в понимании определения октанового числа, необходимо подробно рас-

смотреть эту тему, прежде чем начинать разговор о химической формуле топлива. Как уже упоминалось ранее, большая часть людей понимает, что двигатель будет обладать большей мощностью, а расход топлива уменьшится при использовании топлива с более высоким октановым числом, так как подобное топливо при определенном давлении наддува позволит увеличить степень сжатия и угол опережения зажигания. Однако не все понимают, что при переходе с неэтилированного топлива с октановым числом 95 на топливо Avgas 100/130 с октановым числом 105/110 мощность не обязательно увеличится. Напротив, она даже может несколько уменьшиться, если двигатель не оснащен системами управления датчиком детонации, а также в случае отсутствия соответствующих настроек, которые бы позволили оптимально использовать топливо с более высоким октановым числом.

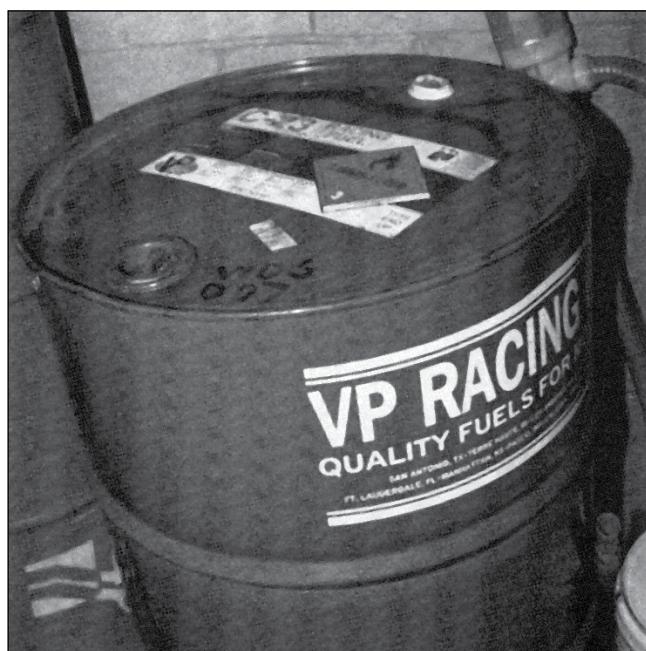
История стандартов октанового числа

Чтобы лучше понять суть определения октанового числа топлива, необходимо вернуться во времена Второй мировой войны. Тогда конструкторы обнаружили, что двигатели со временем выходят из строя под воздействием детонации. Двигатель может работать хорошо после одной заправки топливом, а затем неожиданно пробивать дыры в поршнях при использовании следующей порции топлива, хотя казалось, что топливо имело такой же состав, весило столько же и поставлялось с одного и того же нефтеперерабатывающего завода.

Нефтеперерабатывающие компании пытались провести химический анализ в попытке достичь неизменности свойств топлива от одной партии к другой, но, несмотря на интенсивные лабораторные испытания, они не могли установить партии топлива, которые способствовали возникновению детонации. Из-за этой проблемы в исследовательских целях были сконструированы специальные двигатели с изменяемой степенью сжатия, чтобы классифицировать типы топлива. Стандартный высокомощный одноцилиндровый двигатель для исследований прогревался до соответствующей температуры, затем работал при нормальной частоте вращения и под нагрузкой, а затем степень сжатия увеличивалась, пока в двигателе при использовании определенного вида топлива не начинала происходить детонация. Антидетонационный коэффициент был определен как максимальная полезная степень сжатия.

Но даже при использовании одного и того же исследовательского стенда и стандартной процедуры проверки обнаружилось, что топливо может показывать различные результаты максимальной полезной степени сжатия в различных лабораториях. Возникла необходимость в неизменном стандарте для калибровки исследовательского стенда. Два чистых вещества были выбраны в качестве эталонного топлива. В качестве первичного эталонного топлива использовался изооктан (2-2-4 триметилпентан), а в качестве вторичного эталонного топлива использовался обыкновенный гептан (n-гептан).

Затем было решено использовать это топливо на исследовательском стенде с переменной степенью сжатия, чтобы определить его максимальную полезную степень сжатия. После серии испытаний с различными смесями изооктана и n-гептана была получена смесь, антидетонационные ха-



Топливо для гоночных автомобилей VP C-23 обладает достаточно высоким октановым числом по моторному методу (119). Это топливо этилированное (1,92 г/л) и имеет удельный вес 0.71.

13. Система подачи топлива

Система подачи топлива начинается с топливного бака и заканчивается топливными форсунками. Если одно звено в цепи подачи топлива выйдет из строя, в худшем случае это грозит неизбежными повреждениями двигателя, а в лучшем — значительным снижением мощности. Поэтому, если вы собираетесь устанавливать наддув на атмосферный двигатель или планируете модифицировать турбированый двигатель, прежде всего убедитесь, что каждая часть системы питания способна пропускать достаточное количество топлива, чтобы поддерживать необходимый состав топливо-воздушной смеси.

На рис. 13.1 вы можете увидеть различные компоненты стандартной электронной системы впрыска топлива гоночного автомобиля. Простейшая система электронного впрыска топлива может быть разделена на три части: поток воздуха, электрическая/электронная системы, которые подробно рассматриваются в главах 10 и 18 соответственно, а также система подачи топлива, которая включает форсунки, регулятор давления, топливный насос, топливный фильтр, топливопроводы и топливную рампу.

Рабочий цикл форсунки

Мы не можем рассматривать интенсивность потока топлива в двигателе, учитывая только один аспект — размер форсунок. На самом деле интенсивность потока топлива во впускной заряд определяется размером форсунок, длительностью впрыска и давлением топлива. Так как интенсивность потока достигает пикового значения при максимальной мощности двигателя, важным фактором также является рабочий цикл форсунки, который выражается в максимальном процентном отношении времени впрыска топлива форсункой, чтобы удовлетворять требованиям интенсивности потока топлива. Если форсунка будет открыта постоянно, то есть 100% времени, она будет перегреваться и либо не будет точно реагировать на сигналы от электронного блока управления, либо перегорит. В легковых автомобилях, предназначенных для эксплуатации в условиях городского движения, в форсунках Bosch рабочий цикл не должен превышать 85%, а в гоночных автомобилях он должен быть не больше 80%. В случае с форсунками ND и Rochester отнимите 5% от этих рекомендованных значений, а в случае с форсунками Lucas вы можете свободно прибавить 7%. Однако, прежде чем использовать максимальное значение рабочего цикла форсунок, проверьте их на испытательном стенде и посмотрите на форму распыла и расход, так как может произойти все, что угодно (вибрация форсунки, заклинивание в полуоткрытом состоянии, заклинивание в практически закрытом состоянии и т.д.). Это означает, что, если заводское статическое значение пропускной способности составляет $390 \text{ см}^3/\text{мин}$ под давлением 2,7 бар, максимальная пропускная способность одной форсунки с рабочим циклом 80% при этом давлении топлива составит $312 \text{ см}^3/\text{мин}$ ($390 \times 80\% = 312$).

Однако часто во время тестирования на динамометрическом стенде обнаруживается, что двигатель будет производить оптимальную мощность с правильно настроенным последовательным впрыском топлива (рис. 13.3 и 13.4), когда рабочий цикл будет составлять 60–70%. Более короткий рабочий цикл в 40–50%, который будет начинаться при открытии впускного клапана, часто будет слишком коротким,

чтобы обеспечить оптимальное распыление и охлаждение двигателя. Учтите, что эти примечания касаются только последовательного впрыска топлива. В системах с парным впрыском топлива я не наблюдал различия в мощности при рабочем цикле от 65 до 80%.

Развивая тему рабочего цикла, стоит отметить, что, если мы хотим использовать систему последовательного впрыска топлива и хотим получить максимально возможную мощность, необходимо подбирать достаточно большие форсунки.

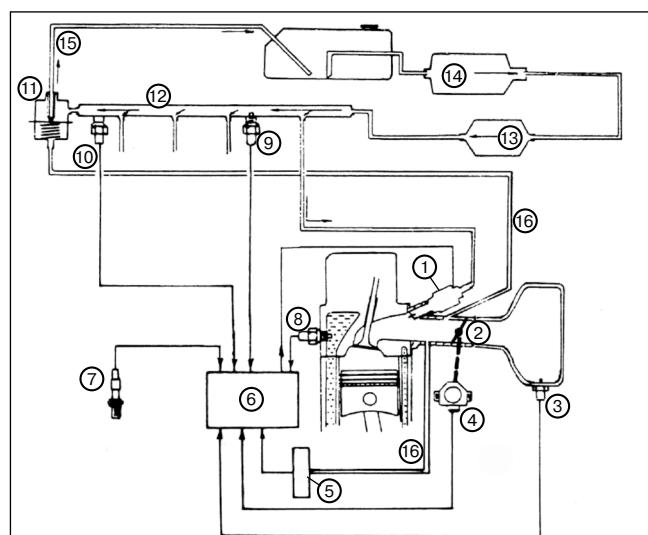


Рис. 13.1. Система электронного впрыска топлива с датчиком абсолютного давления в коллекторе типа Speed Density для гоночного двигателя с наддувом. На иллюстрации изображены следующие компоненты.

1. Форсунки. 2. Дроссельная заслонка. 3. Датчик температуры воздуха. 4. Датчик положения дроссельной заслонки. 5. Датчик абсолютного давления в коллекторе. 6. Электронный блок управления. 7. Датчик температуры выхлопных газов. 8. Датчик температуры охлаждающей жидкости. 9. Датчик температуры топлива. 10. Датчик давления топлива. 11. Регулятор давления топлива. 12. Топливная рампа. 13. Топливный фильтр. 14. Топливный насос. 15. Возвратный топливопровод избытка топлива. 16. Шланг датчика разрежения в коллекторе/давления наддува.

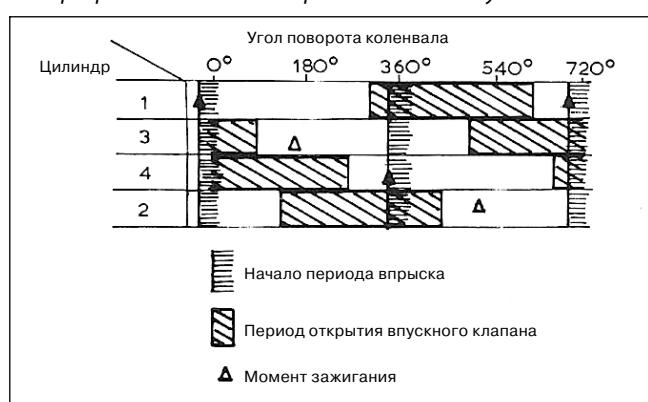


Рис. 13.2. В парной системе впрыска все форсунки срабатывают при каждом обороте коленвала.