

# *ТУРБОНАДДУВ*

*ПРОЕКТИРОВАНИЕ, УСТАНОВКА И  
ИСПЫТАНИЯ СИСТЕМ ТУРБОНАДДУВА*

---

## Предисловие

Теория, мой друг, суха,  
Но зеленеет жизни древо

*Гёте И.В. "Фауст". Трагедия*

Турбонаддув всегда привлекал к себе внимание автомобильных инженеров и энтузиастов как способ значительного повышения мощности автомобильного двигателя. Появившись почти сто лет назад, он и сегодня с успехом используется для форсирования двигателей внутреннего сгорания, будь то дизельный двигатель для трактора или мотор для полноприводного автомобиля WRC.

Будучи признанным во всем мире как рецепт высокой мощности, турбонаддув позволяет успешно модернизировать существующие двигатели. Установив систему турбонаддува на серийный мотор, при грамотном подходе, можно добиться увеличения мощности в 1,5 – 2 раза. При соответствующей подготовке возможно получение невообразимой для серийного двигателя отдачи. Вы когда-нибудь выдели на дороге Ford Focus с двигателем развивающим мощность 300 л.с.

Эта книга не пошаговая инструкция по расчету элементов системы турбонаддува. Она скорее является популярным объяснением базовых принципов, являющихся основой функционирования турбонаддува. Не нужно ждать от нее инструкций по постройке двигателя объемом 1,5 литра, развивающего мощность 400 л.с.

В книге приведены иллюстрации и графики, которые поясняют те или иные стороны работы элементов системы. Они, конечно, не являются ни чертежами ни номограммами для точного определения каких-либо параметров системы. Скорее они иллюстрируют те или иные принципы и тенденции, работающие в турбонагнетателе и других элементах системы.



---

Спасибо за неоценимую помощь и поддержку Садчикову Антону, Поскотину Олегу, Кистеру Даниле, Дмитриеву Константину, Кловачу Евгению, Долгополову Петру, Семенову Роману, Шилову Максиму.

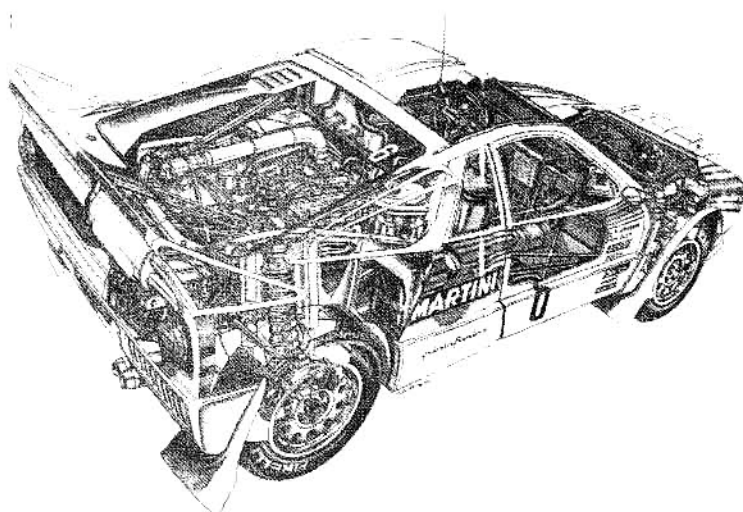
Хочется поблагодарить за доверие Абсаликова Тимура, Азарова Дениса, Афанасьева Аркадия, Ащеулова Константина, Бекина Евгения, Богданова Ивана, Борисевича Ивана, Бровкина Дмитрия, Бруштейна Вадима, Гаврева Владимира, Галимова Ильдара, Гнездова Евгения, Горлатова Дмитрия, Гулева Максима, Гуменного Владимира, Дрибенца Александра, Дулебова Антона, Еремина Аркадия, Ермилова Илью, Ермошкина Юрия, Жевнерова Василия, Жучкова Александра, Забудько Алексея, Иванова Дениса, Иванова Игоря, Иванова Павла, Исаева Дмитрия, Исайченко Дмитрия, Калашникова Александра, Калмыкову Анну, Карташова Павла, Кельс Андрея, Кирякова Егора, Королёва Ивана, Коханенко Евгения, Краснобаева Валентина, Кудрявцева Дмитрия, Кузина Алексея, Кучина Владимира, Мартакова Андрея, Мартьянова Игоря, Матвеева Алексея, Миклина Владимира, Муленко Андрея, Мькиту Андрея, Огнёва Александра, Огнева Константина, Осипова Виталия, Ошихмина Вадима, Палкина Олега, Пахаря Дмитрия, Перелыгина Леонида, Петрова Алексея, Пецко Юрия, Подрядчиков Степана, Пономарева Дениса, Рогожкина Владимира, Рябец Андрея, Сабурова Александра, Самойлова Виталия, Сердюкова Андрея, Серова Максима, Смоляра Александра, Теплоухова Дмитрия, Титченко Андрея, Ткаченко Артема, Токарева Валерия, Требенкова Дениса, Тужик Михаила, Уманец Андрея, Упорова Ивана, Уракова Евгения, Федорова Михаила, Филляюшкина Александра, Фроленкова Игоря, Фролова Сергея, Чубарова Александра, Чурова Михаила, Шешина Юрия, Шуварова Дениса, Ювкина Дмитрия, а так же энтузиастов "Celica Club - [www.celica.su](http://www.celica.su)".

Приятного чтения.

---

## Введение

Принцип действия турбонагнетателя прост. По сути, это нагнетатель воздуха, который приводится энергией, остающейся в выхлопных газах после их выхода из цилиндров двигателя. Из энергии, выработанной в процессе сгорания топлива, приблизительно треть отдается в систему охлаждения, треть производит работу на коленчатом валу, и треть выбрасывается из выхлопной трубы в виде тепла. Именно эту последнюю, третью часть мы можем использовать для привода турбонагнетателя. Заметьте, что 200-сильные машины выбрасывают приблизительно 70 л.с. в виде теплоты прямо в выхлопную трубу. Это огромное количество энергии, которая могла бы быть использована. Вам доводилось видеть вентилятор, приводимый в действие 70-ю лошадиными силами?



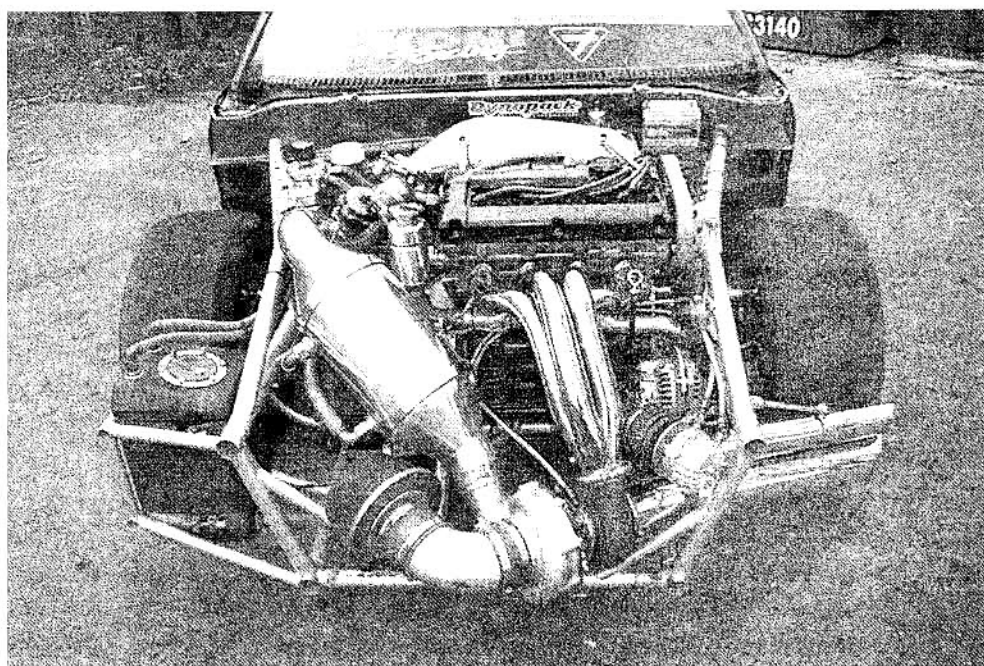
*Легендарная Lancia Delta Integrale 16V. Турбина Garrett AiResearch T03, создающая давление наддува 1,9 бара, обеспечивает мощность 345 л.с. (с установленным 34 мм рестриктором на впуске)*

Таким образом, не трудно представить себе потенциал турбонагнетателя по перемещению огромного количества воздуха.

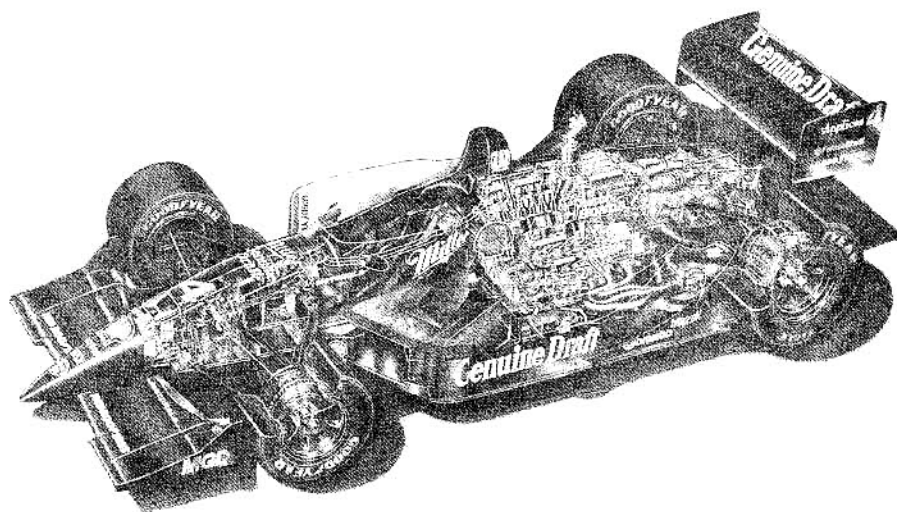
Система турбонаддува – не примитивное устройство. Она состоит из турбонагнетателя и деталей, необходимых для интеграции его в конструкцию двигателя. Однако нигде на этих страницах не обсуждаются

такие вещи, как обтекание воздухом рабочих лопаток компрессора и прочие глубинно-фундаментальные аспекты. Поэтому Вы можете читать эту книгу с уверенностью, что она не является техническим трактатом о секретах работы турбоагнетателя. Определенный смысл, который вкладывается в эту книгу – сделать ее практическим пособием по применению турбоагнетателей в двигателях внутреннего сгорания.

*Рис. 10-19. Этот автомобиль нацелен на достижение максимальной мощности и вся его компоновка подчинена этому, выхлопной коллектор не является исключением. Mitsubishi Lancer EVO III оснащен двигателем 4G63T и турбиной HKS T51R. Мощность на колесах составляет 1040 л.с.*



*Indy car - лучший на сегодня пример разработки силовых установок с турбонаддувом в узких рамках технических требований гоночной серии.*



Турбоагнетатель имеет огромный потенциал для увеличения отдаваемой двигателем мощности, больший, чем у любого другого предназначенного для этой цели устройства.

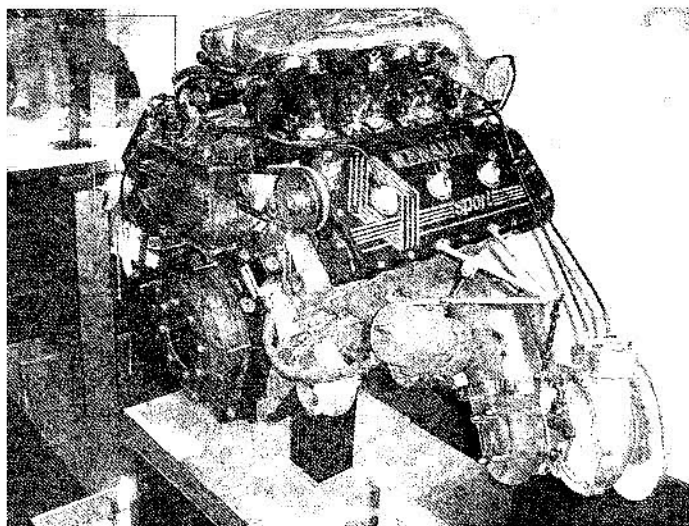
Что же такое турбонаддув, как он работает, и какое оборудование необходимо для него – ключевые моменты, которые освещены в этой книге.

---

## Инженерный взгляд на ОСНОВЫ

### Мощность турбонаддува.

Способность турбонагнетателя увеличивать мощность наиболее наглядно демонстрировалась гоночными автомобилями Гран-при Формулы 1 эпохи 1977-1988 годов.



*Рис. 1-1. Двигатель Renault EF15B Formula 1, 1985 - 1986 г.г., V6, объем 1492 куб. см., давление наддува до 4 бар, мощность до 900 л.с.*

Сравнение мощности дрегстеров с мощностью болидов Формулы 1 показывает абсолютное превосходство двигателей с турбонаддувом. Реальная мощность драгстера с 8-ми литровым двигателем находится в диапазоне 5000-6000 л.с., что означает 0,62 - 0,75 л.с. с 1 куб. см. Эти цифры выглядят блекло в сравнении с 1300-1400 л.с. 1500 кубовых двигателей автомобилей Формулы 1 1981 года, что означает отдачу от 0,86 до 0,93 л.с. с одного кубического сантиметра рабочего объема. Однако у потенциального пользователя турбонаддува остается много вопросов, ответы на которые покажут, почему турбонаддув в равной степени по-

лезен автомобильному энтузиасту, который использует автомобиль для повседневной езды, спортсмену, и даже уличному гонщику.

Почему турбонаддув дает больший прирост мощности, чем другие способы модернизации двигателя?

Потенциал повышения мощности двигателя от применения любого компрессора измеряется количеством воздуха, нагнетаемого устройством с учётом потерь мощности, затрачиваемой на привод, а так же на нагрев воздуха в процессе сжатия. Хотя может показаться, что турбонагнетатель не использует мощность двигателя, так как энергия выхлопа так или иначе будет потеряна, это далеко не так. Поток горячих выхлопных газов приводит во вращение турбину. Уменьшенные проходные сечения, свойственные ее конструкции, создают этим газам противодействие. Это вызывает некоторые потери мощности двигателя, которые не возникли бы, если бы турбонагнетатель получал энергию от другого её источника, а не от двигателя, который в нашем случае выступает в роли насоса. Потеря мощности увеличивается при уменьшении размера турбонагнетателя, потому что турбина меньшего размера создает большее противодействие. Напротив, большие турбины создают намного меньшее противодействие, и поэтому потери мощности меньше.

И всё же затраты мощности на привод нагнетателя, свойственные двигателю с турбиной, существенно меньше, чем потери, возникающие при использовании приводного компрессора с ремнем или другим механическим приводом.

То, что нагнетатель всегда нагревает сжимаемый воздух, является термодинамическим фактом, от которого мы не можем отмахнуться. Различные виды нагнетателей нагревают воздух в разной степени при одинаковых расходах газа и степенях сжатия. В значительной степени это зависит от КПД различных типов насосов. Классический компрессор типа Рутс обычно имеет КПД приблизительно 50 % при том, что турбонагнетатель имеет КПД в районе 70%. Чем выше эффективность (КПД), тем меньше нагрев воздуха. Эффективность имеет первостепенное значение для настоящих энтузиастов мощности, так как повышенная температура воздуха на впуске - враг для высоких характеристик двигателя. При высокой температуре плотность воздуха меньше, таким образом, двигатель фактически потребляет меньшее количество воздуха при более высокой температуре, даже при неизменном давлении. Второй проблемой является то, что более высокие температуры способствуют разрушительно воздействующей на двигатель детонации топливовоздушной смеси.

### Противостояние отдаваемой мощности

Как конструкция двигателя может выдерживать эти огромные мощности?

Чтобы понять, почему для конструкции двигателя не является губительной увеличенная в разумных пределах при помощи турбонагнетателя мощность, необходимо рассмотреть статические нагрузки в двигателе во время его работы. К конструкции двигателя в разные моменты его работы прикладываются два вида статических нагрузок: инерционные и мощностные. Инерционные нагрузки могут быть растягивающими (произведены растягиванием) или сжимающими (про-



изведены сжатием). Мощностная нагрузка может быть только сжимающей. Механизмы воздействия этих нагрузок должны стать понятны читателю как по отдельности, так и в совокупности. Это необходимо для ясного представления, почему турбонагнетатель не убивает кривошипно-шатунный механизм двигателя.

### Инерционная нагрузка.

Инерционная нагрузка возникает из-за сопротивления предмета ускоренному движению. Чтобы исследовать инерционные нагрузки, удобно разделить цилиндр на верхнюю и нижнюю части. Вообразите две половины, отделенные мнимой линией, называемой серединой хода поршня.

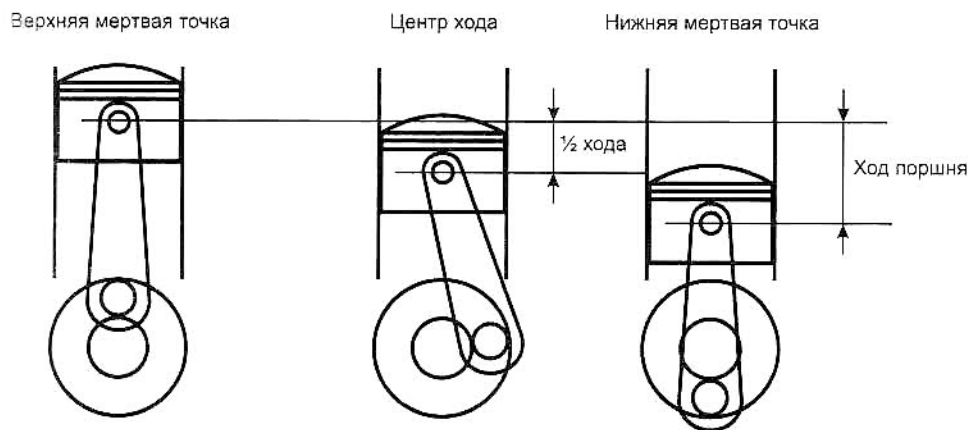


Рис. 1-2. Зависимость нагрузок на узлы двигателя меняет свой характер в трёх характерных взаимных положениях поршня и коленчатого вала.

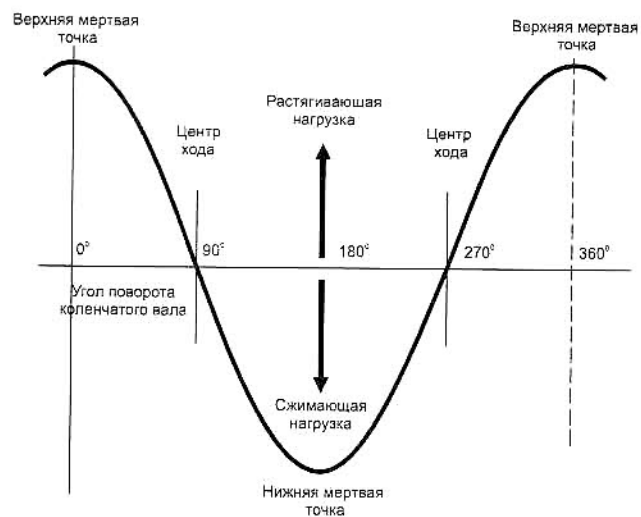
Вектор ускорения поршня всегда направлен к середине его хода (даже при движении вверх или вниз от этой середины). Другими словами, когда поршень выше середины своего хода, он будет всегда ускоряться вниз. Когда он ниже середины хода (даже в мертвой точке), он будет ускоряться вверх. Самые большие ускорения достигаются в верхней мертвой точке и нижней мертвой точке, когда поршень фактически останавливается. Когда ускорение самое большое, нагрузки будут самые высокие. Когда поршень проходит через середину своего хода ускорение нулевое, а скорость максимальна.

Величина нагрузок, возникающих при движении поршня, пропорциональна частоте вращения двигателя, возведенной в квадрат. Например, если число оборотов двигателя в минуту увеличено втрое, инерционная нагрузка будет в девять раз большей. Поршень, который двигается (ускоряется) к верхней мертвой точке и затем обратно к середине хода, прикладывает растягивающую инерционную нагрузку к узлу поршень/шатун. Напротив, когда поршень двигается к нижней мертвой точке и затем обратно к середине хода, инерционная нагрузка будет сжимающей. Таким образом, во время нахождения поршня выше середины хода инерционная нагрузка, будет растягивающей, а ниже середины хода - сжимающей. Самое большое растягивающее усилие, приложенное к шатуну - в верхней мертвой точке на ходе выпуска (потому что в верхней мертвой точке в конце такта сжатия ТВС уже горит и соз-

дает давление, противодействующее инерционной нагрузке). Самая большая сжимающая нагрузка - в нижней мертвой точке после впуска или рабочего такта.

Эти инерционные нагрузки огромны. В двигателе большого объема, работающем на 7000 оборотов в минуту, в шатуне могут развиваться инерционные нагрузки величиной более, чем 1,8 тонны. (Для наглядности представьте себе микроавтобус, стоящий на вашем шатунном подшипнике.)

Рис. 1-3. Инерционные нагрузки, прикладываемые к шатуну, приближены к синусоидальной зависимости относительно угла поворота коленчатого вала.



### Мощностная нагрузка.

Мощностная нагрузка возникает от давления сгорающей ТВС, приложенного к поршню. Это сжимающая нагрузка, приложенная к шатуну вследствие того, что горячие газы вынуждают поршень двигаться вниз.

Давление, созданное расширяющимися горячими газами, прикладывает к поршню силу, равную площади сечения цилиндра, помноженной на давление в камере сгорания. Например, шатун в двигателе с площадью сечения цилиндра 64,5 квадратных сантиметра (при диаметре 90 мм) при давлении в камере сгорания более 50 бар, будет испытывать сжимающую мощностную нагрузку в 3,6 тонны.

Особая зависимость инерционных и мощностных нагрузок наиболее интересна в верхней половине рабочего такта. Здесь мы имеем следующую картину: две нагрузки, действующие на шатун, нагружают его в различных направлениях. Помните, что инерционная нагрузка является растягивающей выше середины хода, в то время как мощностная нагрузка в любом случае является сжимающей. Мощностная нагрузка достигает максимума при максимуме крутящего момента, и постепенно снижается при дальнейшем увеличении оборотов двигателя, но вообще всегда больше чем инерционная нагрузка. Разность между этими двумя нагрузками и есть реальная нагрузка на шатун (рис. 1-5).

Итак, инерционные нагрузки частично компенсируются мощностной нагрузкой. Из вышесказанного, очевидно, что в конце такта выпуска, когда шатун/поршень достигает верхней мертвой точки и не подвергается сопротивлению сжимающихся газов (потому что все кла-

пана открыты), достигается самое высокое растягивающее усилие. Эта нагрузка наиболее разрушительна из всех, потому что растягивающие усилия вызывают усталостное разрушение, в то время как сжимающие усилия к этому не приводят. Поэтому, когда конструктор анализирует напряжения в шатуне и шатунных болтах, его в наибольшей степени интересуют инерционные нагрузки в верхней и нижней мертвых точках.

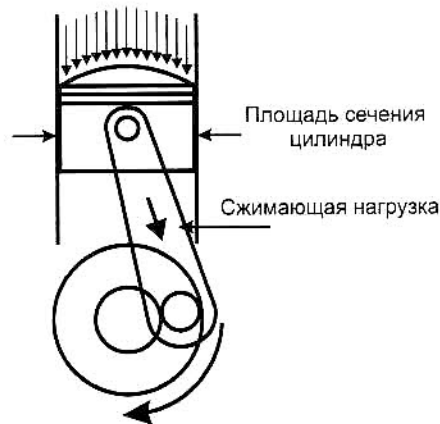


Рис. 1-4. Сгорающая ТВС создает сжимающие нагрузки в шатуне.



Рис. 1-5. Объединенный график мощностной и инерционной нагрузок. Заметьте, что мощностная и инерционная нагрузка вычитаются друг из друга.

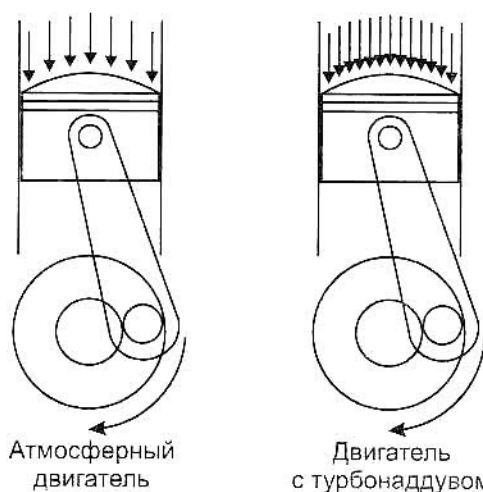
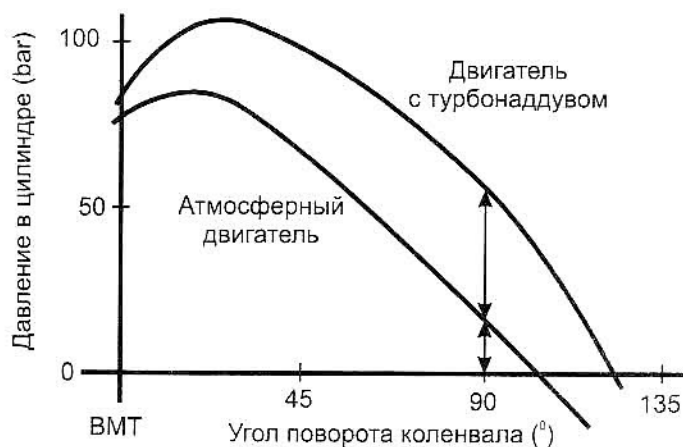
Мысль об удвоении момента двигателя (удвоении мощности при тех же оборотах двигателя) приводит к другой мысли – об удвоении мощностной нагрузки. К счастью это не так. Показать, как мощность можно удвоить без удвоения давления в камере сгорания, проще всего графически. Любые существенные изменения расчетной нагрузки будут основаны на пиковом давлении в камере сгорания. На рисунке 1-б видно, что при удвоении количества смеси в камере сгорания, пиковое давление возрастает только приблизительно на 20%. Имеются две причины для этой непропорциональности.

Во-первых, мощность – функция среднего давления по всему рабочему ходу поршня, а не только пикового давления. Среднее давление может быть значительно увеличено за счет более высокого давления в середине или в конце хода, в то время как максимум давления существенно не возрастает.



Во-вторых, максимальное давление вообще достигается после сгорания 18-20 % смеси. Если количество смеси удвоено, те же 18-20 % этого количества сгорят при достижении максимального давления. Так как полное давления в камере сгорания состоит из давления сжатия и давления сгоревших газов, невозможно удвоить полное давление, удваивая только одну из его составных частей. (Не иначе, законы физики благосклонны к шатунам и шатунным подшипникам.)

Рис. 1-6. Давление в цилиндре как функция угла поворота коленчатого вала при примерно двух атмосферах давления. Заметьте, что у двигателя с турбонаддувом максимальное давление достигается приблизительно при 20° после ВМТ, когда сгорает около 20% смеси. Даже при высоких давлениях наддува небольшое количество сгоревшей смеси не будет давать результат в виде большого изменения максимального давления. Когда процесс горения приблизится к завершению, большая плотность смеси может поднимать давление в три - четыре раза при углах поворота коленчатого вала около 90°, поэтому момент на валу при этом может быть вдвое больше.



Давление при угле поворота коленвала 90°

Тщательное изучение рисунка 1-6 показывает, что при угле поворота коленчатого вала, приближающегося к 90°, давление в камере сгорания, при работе с наддувом, в три - четыре раза больше. Оно, однако, заметно меньше чем максимальное давление. Поэтому оно не создает разрушающей нагрузки. Часть рабочего хода в районе 90° — это тот участок, где возникают реальные увеличения мощности двигателя с турбонаддувом. Любой владеющий физикой товарищ, посмотрев на диаграмму, скажет Вам, что область под соответствующими кривыми представляет собой мощность. Таким образом, разность в площади этих двух областей представляет собой увеличение мощности от примене-

ния турбонагнетателя. Теперь очевидно, что мы можем удваивать мощность, не удваивая нагрузку на поршень и шатун!

Итак: предшествующее обсуждение показывает, что увеличенное давление в камере сгорания при использовании турбонаддува и увеличившаяся при этом мощностная нагрузка будут иметь довольно умеренное влияние на конструкцию двигателя.

*Умеренное увеличение мощностной нагрузки вообще не будет серьезно влиять на конструкцию двигателя.*

### Большой ресурс

Большой ресурс: достигается ли он? а как он достигается? Ответ на первый вопрос легко находится при рассмотрении нескольких примеров. Кто-то в Porsche однажды сказал, что одна миля в гонках эквивалента по износу 1000 уличным милям. Гоночные автомобили Porsche с турбомоторами выиграли так много двадцатичетырёхчасовых гонок на выносливость, что только гоночные историки могут назвать их число. Автомобили проходят на таких гонках почти пять тысяч километров. «Гражданский» автомобиль с пробегом в пять миллионов километров кажется невозможным, но такая аллегория звучит внушительно. На кольцевой трассе «Daytona» Porsche 962 с турбонагнетателем развивает скорость более 320 км/ч. Мысль о том, что он будет так носиться в течение двадцати четырех часов, может показаться ошеломительной. При осознании таких нагрузок и скорости возникает уверенность, что никто не пройдет эту гонку до конца. Однако болиды с турбомоторами успешно финишируют. Эта книга, прежде всего, касается турбонаддува не для гоночных болидов, а для обычных машин, но поставленные задачи принципиально одинаковы, даже если они различны по размаху. «Гражданские» автомобили это как кусок вкусного пирога для автопроизводителей. Многие из них даже дают достаточно длительную гарантию на свои турбоавтомобили.

Достигнуть большого ресурса не так легко, как ответить на вопрос, достигим ли он. В широком смысле, большой ресурс сводится к контролю над теплотой в системе двигатель/турбонагнетатель. Любой элемент системы, в котором делает своё дело теплота, является кандидатом на роль Ахиллесовой пяты мотора. Для достижения большого ресурса должен быть оптимизирован каждый из этих элементов. Эта оптимизация охватывает КПД компрессора, промежуточное охлаждение, управление температурой выхлопных газов, температуру подшипников турбины, и многие другие аспекты, которые будут обсуждены в следующих главах. Мы должны найти решение поставленной задаче – "управление теплотой". При чтении этой книги будет полезно помнить, что в грамотном решении этой задачи фактически кроется успех турбодвигателя.

### Увеличение мощности

Откуда возникает увеличение мощности? Какова формула мощности любого двигателя, и как турбонаддув влияет на эту формулу? (Не

пугайтесь до смерти при упоминании формул: те из них, о которых ниже идёт речь, являются простыми и легкими для понимания.)

Чтобы ответить на эти вопросы, надо изучить линейное уравнение с одним неизвестным, которое связывает мощность с параметрами, описывающими двигатель внутреннего сгорания.

$$\text{Мощность} = P * L * A * N$$

$P$  - среднее полное давление в цилиндре. Проще представить себе  $P$  как среднее давление, воздействующее на поршень.

$L$  - длина хода. Она сообщает, как далеко будет двигаться поршень под действием этого давления.

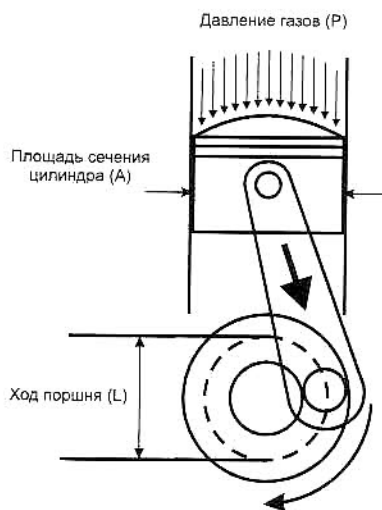
$A$  - площадь сечения цилиндра. Вот она, та самая площадь, к которой приложено давление.

$N$  - число рабочих тактов двигателя за одну минуту. Это число показывает, сколько цилиндров у двигателя и каковы его обороты.

$$N = \text{число цилиндров} * \text{частота вращения двигателя} / 2$$

(Для четырехтактного двигателя, частота вращения разделена на 2 потому что каждый цилиндр совершает рабочий такт один раз за два оборота)

Рис. 1-7. «PLAN» - ключ к источнику отдаваемой двигателем мощности.



Здесь наблюдается несколько интересных зависимостей! Например, возьмите  $P$  и умножьте на  $A$ , и Вы имеете произведение давления на площадь, которое является средней силой, действующей на поршень. Теперь умножьте  $P * A$  (сила) на длину хода  $L$  (расстояние), и Вы имеете число, которое представляет собой момент, теперь берите это число и умножайте на  $N$  (с какой скоростью совершается работа), вот Вы и получите мощность (то, что и заказывали).

Пожалуйста, заметьте, что это означает: мощность = момент \* обороты в минуту

Так как общая цель нашего упражнения - получение большей мощности, давайте изучим то, над чем позволяет нам поработать «PLAN».

Сначала давайте посмотрим на то, что может дать работа с  $N$ . Имеются два способа получить большее количество рабочих тактов в минуту: увеличить количество цилиндров или раскрутить двигатель до больших оборотов. Это дает некоторое поле для приложения усилий: старания целой области человеческой деятельности, известной как

проектирование двигателей, направлены исключительно на достижение более высоких оборотов в минуту с определенным запасом прочности. Помните, что ненавистные инерционные нагрузки растут в квадратичной зависимости от увеличения оборотов двигателя. Это означает, что при 7200 оборотах в минуту, инерционная нагрузка будет составлять 144 % от нагрузки, возникающей при 6000 оборотах в минуту. Двигатель подвергается усиленному износу и разрушению. В конечном счете, увеличение отдаваемой мощности путем увеличения  $N$  не является ни дешевым, ни приятным и не способствует достижению большого ресурса.

Так как мы, по вышеизложенным практическим причинам, не можем значительно увеличивать мощность, увеличивая  $N$ , единственный оставшийся выбор – увеличить момент, делая что-то с  $P \cdot L \cdot A$ .

Мы должны вернуться и посмотреть на  $P \cdot L \cdot A$  немного внимательней. Попробуем изменить  $A$ , то есть площадь сечения цилиндра. Насколько это поможет? Измените диаметр цилиндра на 3 мм, и, возможно, вы получите прибавку мощности в 10 %. Не стоит заморачиваться. Мы можем также изменить  $L$ , ход поршня. Может быть, получим ещё 10 %. Очевидно, что если нашей целью является существенное увеличение мощности, то  $A$  и  $L$  не дадут нам многого. Изменение  $P$  становится нашей единственной надеждой.

Как успешно изменять  $P$  - это сложный вопрос.  $P$  может быть изменено в 1,2, 1,5, 2, 3, 4, 5 раз... реальный потенциал не известен, так как инженеры постоянно нащупывают новый предел. Гоночные автомобили Гран-при сезона 1987 довели развитие турбонагнетателя до высочайшего уровня, когда-либо достигнутого, доведя отдаваемые мощности почти до 1 л.с. с кубического сантиметра. Этого достаточно, чтобы сказать, что удвоение мощности нашего с вами обычного двигателя - это не детские фантазии, это наши оправданные ожидания.

Здесь особенно важно заметить то, что мы значительно увеличиваем мощность без увеличения оборотов двигателя. Потому что момент ( $P \cdot L \cdot A$ ) - это то, что мы действительно изменяем..

### *Турбина увеличивает момент, а момент это здорово!*

#### Эластичность двигателя

Каковы ограничения накладываемые турбодвигателем на эластичность?

Хорошая эластичность и отзывчивость на действия водителя для большинства современных автомобилей являются обязательными условиями. «Сел, завёл, поехал». Если не так, то современный потребитель будет недоволен.

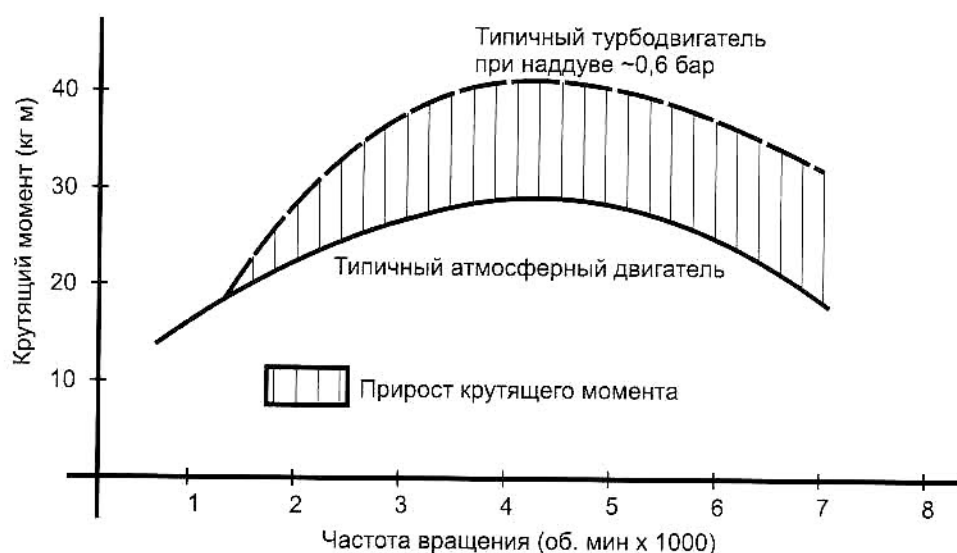
Принято считать, что высокая мощность и хорошая эластичность не совместимы в одном автомобиле. Данное мнение является вполне справедливым для атмосферных двигателей, но совершенно не годится в отношении двигателей с турбонаддувом.

Рассмотрим факторы, определяющие эластичность: консервативные профили распредвала, малые впускные каналы, гибкость и калибровки топливной системы. Правильный двигатель с турбонаддувом имеет профиль распредвала с малым перекрытием, обычно называе-

мый "экономичным распредвалом". Размеры каналов обычно малы, чтобы обеспечить хорошее наполнение цилиндров на низких оборотах и позволяющие компрессору затрамбовывать воздух в них, когда требуется высокое давление. Калибровка топливной системы должна быть точной, по крайней мере для случая электронно-управляемого впрыска топлива. Очевидно, что факторы, формирующие хорошую эластичность, присутствуют в автомобилях с турбомоторами. То, что турбонаддув позволяет подать большее количество воздуха в цилиндры, когда это необходимо, нисколько не влияет на "сел, завёл и поехал."

Однако имеются два фактора, влияющие на эластичность, которые начинают играть роль при использовании турбонаддува: порог наддува и задержка (лаг). Они, впрочем, не столь уж значительно ухудшают характеристики атмосферных двигателей, так как распредвал, степень сжатия, установка угла опережения зажигания, и топливная смесь остаются фактически теми же самыми.

Рис. 1-8, Типичный пример разницы в кривых момента для турбомотора и атмосферного двигателя.



### Порог наддува.

Порог наддува, отнесённый к категории терминов для глоссария, по существу означает самые низкие обороты двигателя в минуту, при которых турбонагнетатель может создать давление наддува (с полностью открытой дроссельной заслонкой). Ниже этих оборотов турбонагнетатель просто не имеет достаточного количества энергии выхлопных газов, чтобы развить частоту вращения компрессора, необходимую для создания во впускном коллекторе давление выше атмосферного (см. рис., 1-8). До достижения оборотов порога наддува кривая момента двигателя остается фактически такой же, как у атмосферного двигателя. Если раскручивать двигатель далее при полностью открытой заслонке, водитель почувствует значительное увеличение мощности после порога наддува, поскольку кривая момента направлена вверх. Если дроссельная заслонка полностью не открыта, турбонагнетатель не вносит вклада в кривую момента, и ускорение будет таким же, как и у атмосферного двигателя.

Кривая момента до порога наддува может иногда являться компромиссным вариантом из-за беспричинного понижением степени сжатия (объем камеры сгорания плюс рабочий объем цилиндра, деленный на объем камеры сгорания), причиняя неприятные ощущения при отсутствии наддува на низких оборотах. Тут и выясняется, что некоторые из автомобильных производителей сделали серьезную инженерную (или экономическую) ошибку, не устанавливая соответствующие интеркулеры для достаточного охлаждения воздуха на впуске. Это позволило бы использовать более высокие степени сжатия, обеспечивая приятную реакцию двигателя на низких оборотах. Если Вы выбираете себе машину с турбонагнетателем, попробуйте спросить у продавца о параметрах эффективности промежуточного охладителя (само собой, только после того, как Вы спросите, имеет ли вообще машина интеркулер). Разумно ожидать, что эластичность на низких скоростях имеет место, если транспортное средство оснащено промежуточным охладителем, и степень сжатия составляет 8 - 10.

Оценивать качество системы турбонаддува исключительно по наличию низкого порога наддува – значит допускать серьезную ошибку. Сложно доказать, что положительное давление наддува на низких оборотах двигателя – плохая вещь, но легко доказать, что это давление наддува на низких оборотах, достигнутое за счёт турбины меньших размеров – потенциальная проблема, связанная с более высоким обратным давлением отработанных газов. Тщательно разработанная система, в которой уделено должное внимание всем её параметрам, выдаст хорошее давление наддува на низких оборотах, и это будет лишь положительным её качеством.

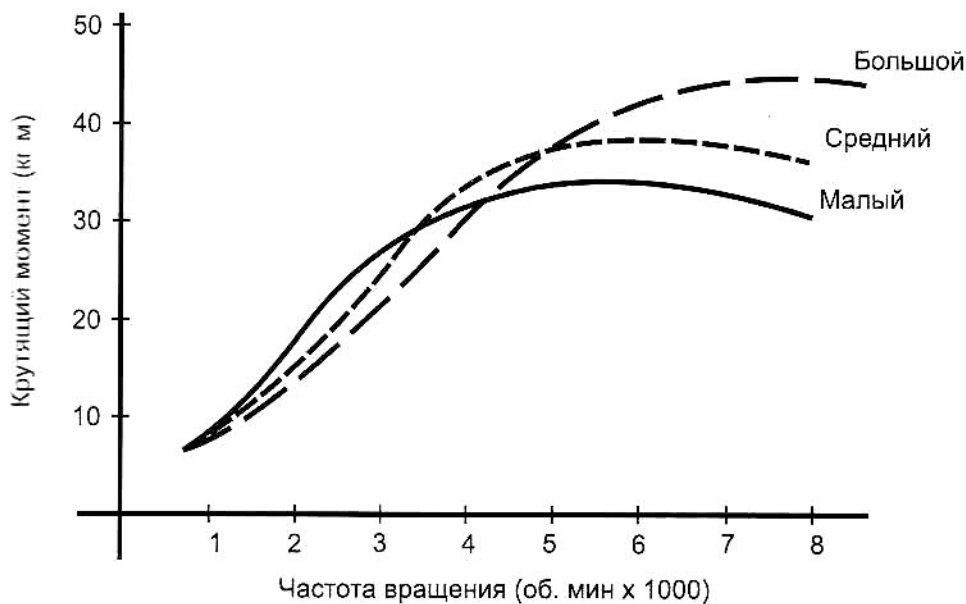


Рис. 1-9. Диаграмма увеличения момента при использовании малой, средней, и большой турбин установленных на одном и том же двигателе.

Небольшие турбонагнетатели зачастую провоцируют раздражающую реакцию при незначительном открытии дроссельной заслонки. Это без сомнения влияет на эластичность двигателя, так как небольшое движение дроссельной заслонки производит быстрый и обычно нежелательный всплеск давления наддува, который ухудшает



плавность движения автомобиля. Иногда это заставляет пассажира думать о водителе как о нервном и неуравновешенном. Этот небольшой всплеск часто дает водителю надежду, что автомобиль будет действительно лететь, когда дроссельная заслонка будет полностью открыта. Вместо этого, он с печалью наблюдает, что всплеск этот – и было все давление наддува, которое смогло изобразить лишь небольшой «дыр-р-р». Производители то и дело поступают именно так, надеясь, что мы будем думать, будто автомобиль имеет мгновенную реакцию и момент во всем диапазоне оборотов. Они вообще пропустили тот факт, что основные наши ожидания – это действительно высокая мощность. Эта ошибка производителей имеет и оборотную сторону – многие журналисты, писатели, крутые водители, и другие социальные изгои с удивлением вопрошают – " Где же, блин, мясо!?"

*Серийные турбодвигатели, как правило, далеки от того, чтобы энтузиасты и инженеры называли их совершенными. Позвольте нам называть серийные турбодвигатели консервативными.*

#### **Задержка.**

Обсуждение турбин редко обходится без упоминания о задержке (лаге турбины). На самом деле участники обсуждения редко говорят действительно о задержке. Обычно они говорят о пороге наддува. Пожалуйста, прочтите определения задержки (лага), порога наддува, и приемистости в глоссарии. Применительно к турбонагнетателю задержка по существу означает, как долго Вы должны ждать давления наддува после того, как открыли дроссельную заслонку. Стало быть, это явление не полезное по определению. Но задержка не имеет никакого отношения к приемистости. Приемистость в данном случае имеет одинаковый смысл как для турбодвигателя, так и для атмосферного.

Ситуация сводится к следующему – либо имеется некоторая задержка и огромное увеличение момента или напротив – отсутствие задержки и отсутствие увеличения момента.

*Если Вы не имеете никакой задержки, Вы не имеете никакого наддува. Поэтому Вы не можете ожидать никакого значительного увеличения момента.*

Задержка уменьшается с увеличением частоты оборотов двигателя. В то время как задержка может иметь длительность в секунду или более при низких оборотах двигателя, при увеличении наддува, на оборотах приблизительно 4000 или больше задержка фактически исчезает. Например, в должным образом сконструированной системе наддува, давление наддува будет всегда следовать за положением вашей педали при оборотах более чем 4000 оборотов в минуту. Реакция здесь фактически мгновенна.

Форма кривой момента двигателя с турбонаддувом достаточно сильно отличается от таковой у атмосферного двигателя. На двигателях с турбонаддувом максимум момента фактически всегда находится на более низких оборотах. Сопоставьте характеристики всех известных двигателей и придёте именно к такому выводу. Чем больше форсирован

атмосферный двигатель, тем больше его отличие от двигателя с турбонаддувом. Как результат для водителя это означает, что он или она не должен сильно раскручивать мотор с турбонаддувом, чтобы двигаться быстрее. Это логическое заключение идёт совершенно вразрез с популярным мнением, но факт налицо.

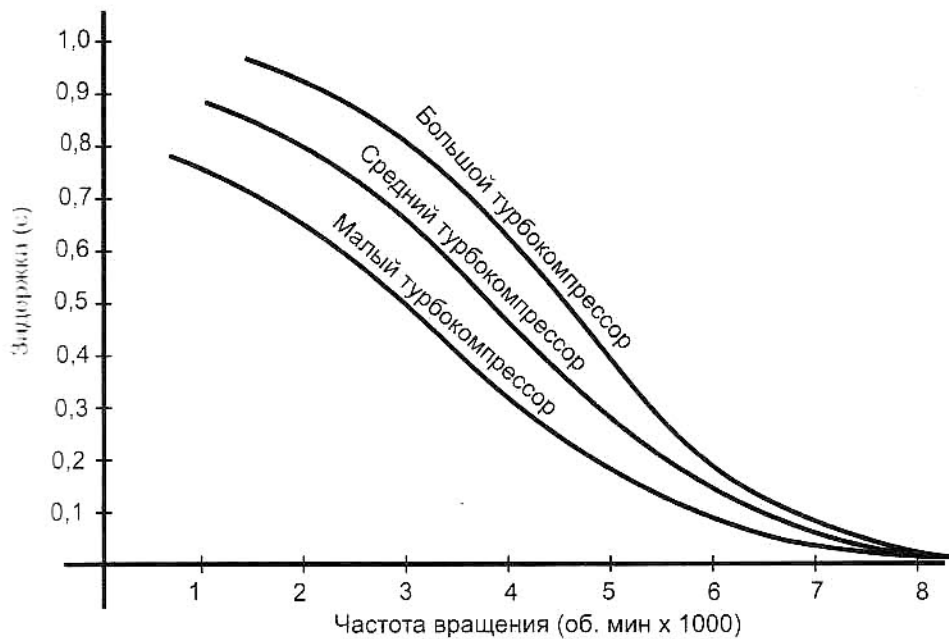


Рис. 1-10. Сравнение величин задержки малой, средней, и большой турбин

Горячий и холодный запуск часто представляют как проблемы высокофорсированных двигателей. До некоторой степени это справедливо в системах турбонаддува с карбюраторами, но такие системы немногочисленны. Системы впрыска топлива зависят исключительно от различных показаний температурных датчиков для холодного и горячего запуска и являются полностью автоматическими. Запуск из холодного состояния – проблема для двигателей с более низкими степенями сжатия. Если двигатель имеет проблемы в этом отношении без турбонагнетателя, он будет, вероятно, иметь те же самые проблемы с турбонагнетателем, так как нагнетатель не влияет ни на эти температуры ни на электронику. В любом случае, эта трудность не связана с турбонаддувом.

### Просто езда.

Турбонагнетатель находится на заднем плане на всех режимах езды кроме тех, на которых необходимо иметь давление наддува, чтобы достичь особенной скорости. Предположим, что данное транспортное средство может достичь максимальной скорости, скажем, в 200 км/ч без турбонагнетателя. Теперь установим турбонагнетатель. Разумно говорить, что транспортное средство достигнет приблизительно 200 км/ч без потребности в дополнительной мощности; следовательно, для этого не требуется никакого давления наддува. Для всех практических целей, даже для самых диких и невообразимых скоростей, вряд ли потребуется любое давление наддува, чтобы поддерживать такую скорость.



Мысль, что супермощный, с максимальной отдачей турбоавтомобиль великолепно приспособлен для движения на полной скорости, но похож на неприрученного злобного зверя на низких скоростях, не является столь уж неблагоприятной. Но слишком в неё углубляться мы не станем. Чтобы создать эффективный автомобиль с приличным турбо-нагнетателем, Вам необходимо только проделать на более продвинутом уровне всё то же, что требуется для создания турбоавтомобиля вообще: отвести большее количество теплоты, увеличить подачу топлива, увеличить октановое число и убедиться, что конструкция двигателя отвечает предъявляемым требованиям. Факторы, которые являются основой хорошего поведения на низких оборотах – консервативные профили распредвалов, малые впускные каналы, и калибровка топливной системы, неизменны и для более высоких давлений наддува.

Совершенно неразумно говорить, что 500-сильный уличный турбоавтомобиль, который при полном открытии дросселя на второй передаче может оставить на асфальте следы от колес, имеет проблемы с эластичностью.

### Итоги главы

*Какую мощность можно ожидать от двигателя с турбонаддувом?*

При использовании имеющегося в настоящее время топлива, наддув от 0,5 до 0,8 бара - практический верхний предел для стоковых двигателей (на уровне моря). Промежуточное охлаждение позволяет достичь этого потолка, когда оно продумано и должным образом выполнено. Конечно, не все турбокиты реализуют вышеупомянутый потенциал, это связано с различиями технических решений в этих изделиях. Специальная подготовка двигателей для турбонаддува часто обеспечивает возможность давления наддува от 1,0 до 1,4 бара. При таком разбросе перспективных параметров требование точно вычислить или оценить значение мощности двигателя с турбонаддувом выглядит несколько сомнительно.

Самый низкий выход мощности, который был достигнут в ходе испытаний на динамическом стенде для поршневых двигателей с разнообразными системами турбонаддува - 0,0435 л.с./куб. см. на бар, а самый высокий - 0,0691 л.с./куб. см. на бар. Расхождение это вызвано разницей в исходных конструкциях двигателей. Чтобы приблизительно оценить выходную мощность вашего собственного двигателя, возьмите за основу предполагаемый удельный выход мощности Вашего проекта и умножьте на каждую из двух величин – рабочий объем в кубических сантиметрах и планируемое давление наддува плюс 1 бар.

Пример: двигатель 2000 куб. см. с наддувом 0,7 бара.

Минимальная оценка =  $0,0435 \times 2000 \times (1 + 0,7) = 148$  л.с.

Максимальная оценка =  $0,0691 \times 2000 \times (1 + 0,7) = 234$  л.с.

*Можно ли оценить величину наддува для конкретного турбокита?*

Это можно сделать тогда и только тогда, когда были выполнены определенные условия, в таком случае наддув может быть определен точно. Например:

- использовался коммерческий бензин с бензоколонки?
- использовались увеличители октанового числа?
- была ли детонация?
- какова была температура воздуха на впуске?

- было ли установлено то же самое давление наддува, которое покупатель?

Принимая во внимание большое увеличение мощности, обеспечиваемое турбоагнетателем, возникает вопрос: каким образом предотвращается разрывные элементы двигателя?

Для правильного ответа на этот вопрос необходим полный анализ инерционных, мощностных и тепловых нагрузок до и после установки турбонаддува. Если всё изучено должным образом, то в заключении будут получены два интересных факта:

- инерционные нагрузки в современном двигателе внутреннего сгорания настолько велики при максимальной мощности, что мощностная составляющая полной нагрузки имеет небольшое значение. Например, чтобы увеличить мощностную нагрузку на шатунный подшипник до величины инерционных нагрузок, фактическая мощность двигателя должна была бы увеличиться приблизительно на 50 %.

- тепловые нагрузки в двигателе, не разработанном первоначально для турбонагнетателя, приведут к увеличению температуры в узлах системы охлаждения при работе с наддувом, узлы и система охлаждения могут справляться с увеличением температуры в течение некоторого ограниченного времени. Это истинно для Porsche, Audi, Volvo, Nissan и т.д. Это также относится ко всем вариантам турбокитов. Значение этого времени зависит от многих факторов. Опыт показывает, что значение времени работы при полном наддуве находится в пределах от 20 до 25 секунд. Это эксплуатационное ограничение, не имеющее однако, значительных последствий. Представьте для наглядности, на какой скорости Вы будете двигаться, если будете держать полностью открытой дроссельную заслонку 325-сильной Toyota Supra в течение пятнадцати секунд? Ответ: очевидно, на неприлично высокой скорости.

*Когда турбонагнетатель должен начать создавать давление наддува?*

В большинстве случаев приходится идти на компромисс между низким порогом наддува и максимальной мощностью. Изменение размеров турбонагнетателя для обеспечения наддува на низких оборотах приводит к работе турбонагнетателя в очень неэффективном диапазоне расхода газов при максимальных оборотах двигателя. Наоборот, если должна быть достигнута максимальная мощность, турбонагнетатель будет обычно таким большим, что не будет создавать никакого давления до второй половины рабочего диапазона оборотов двигателя. В большинстве случаев необходим компромисс. Разумный баланс между скоршей реакцией «внизу» и большой мощностью на максимальных оборотах состоит в том, чтобы довести требуемый размер турбонагнетателя до такого, при котором он начал бы создавать давление наддува при достижении приблизительно 30 % от максимальных оборотов двигателя.

*Как турбонагнетатель влияет на эластичность двигателя?*

Эластичность двигателей с впрыском топлива останется той же самой. Эластичность карбюраторных двигателей с системой турбонаддува перед карбюратором фактически останется той же самой. Запуск карбюраторных двигателей будут слегка ухудшен. Пожалуйста заметьте, что турбонагнетатель установленный за карбюратором, будет фактически всегда ухудшать эластичность двигателя, а холодный запуск является ахиллесовой пятой таких систем.

*Увеличит ли турбонагнетатель расход топлива?*

Да. Турбонагнетатель, установленный как дополнительное устройство на двигателе с искровым зажиганием, не является устройством для экономии топлива и не может быть таковым. Для таких ожиданий отсутствует какая-либо техническая основа. Если Вы поддаётесь уговорам продавца турбонагнетателя, обещающего снизить расход топлива Вашим мотором, убедитесь, что он даёт Вам в этом письменную гарантию. При работе в режимах до достижения порога наддува турбонагнетатель – узкая часть системы. В этом случае он является причиной небольшого падения объемного КПД. Объемный КПД и экономия топлива взаимосвязаны, и если Ваш стиль вождения останется прежним, Ваш расход топлива увеличится приблизительно на 10 % в городе и на 5 % на шоссе.

*Турбонагнетатель влияет на износ двигателя и его обслуживание?*

Конечно же, турбонагнетатель влияет на износ двигателя. Вы действительно ожидаете прибавку мощности без увеличения износа? Здесь также нет никаких чудес. Если Вы водите энергично, но с некоторым уважением к технике, Вы можете ожидать приблизительно сохранения ресурса на уровне примерно 90 % от номинального срока службы двигателя без наддува.

*Будут ли неблагоприятные воздействия на коробку передач и трансмиссию?*

Вряд ли. Имейте в виду, что трансмиссия передает большее количество момента на первой передаче от штатного двигателя, чем почти любой турбонагнетатель может дать на второй передаче. Иногда сцеплению приходится усердно потрудиться, что не продлевает ему жизнь. Большинство проблем со сцеплением могут возникать при переключении передач более быстром чем приемлемо. Это не главный повод для переживаний.

*Какие ощущения возникают при управлении правильно настроенным турбоавтомобилем?*

Турбонагнетатель может быть назван умножителем крутящего момента: чем больше давление наддува, тем больше момент. Эта ситуация аналогична передаточным числам. Например, третья передача с передаточным числом 1,4 передаст на 40 % больше момента на ведущие колеса, чем четвертая с передаточным числом 1,0. Давление наддува на уровне 0,4 бара приведёт к увеличению момента примерно на 40 % (с использованием промежуточного охладителя). Таким образом, Вы можете видеть, что наддув 0,4 бара позволит иметь ускорение на четвертой передаче, фактически соответствующее третьей передаче на простом автомобиле. Вообразите, как будет грести колёсами автомобиль с подходящим турбонагнетателем на второй передаче! Другое наглядное сравнение: хороший турбоавтомобиль, получивший для двигателя 0,7 бара наддува, будет разгоняться от 0 до 100 км/ч за две трети от начального времени; за 6 секунд против 9 секунд, например.

---

# Приобретение автомобиля с турбодвигателем

Задача этой книги, если попытаться её определить, состоит в том, чтобы снабдить энтузиаста форсирования автомобилей, интересующегося турбонаддувом, пакетом информации, которая может быть использована для оценки системы, будь то заводская турбосистема или турбокит стороннего производителя. Эта книга также предназначена быть информационной базой проекта для любителя, который хочет построить свою собственную систему турбонаддува. Существует три жизнеспособных метода, чтобы получить в своё распоряжение транспортное средство с турбонаддувным двигателем;

- покупка автомобиля с OEM турбомотором
- покупка турбокита сторонней фирмы (если такой существует), разработанного для вашего автомобиля (aftermarket турбокит)

- постройка собственной системы турбонаддува

Обоснование решения, которое удовлетворит вашим потребностям и требованиям лучше всего, заключается в логическом резюме следующего:

- для чего предназначено транспортное средство?
- что является легальным в рамках законодательства применительно к выбранной модели автомобиля?
- сколько требуется мощности?
- требуется ли сохранение заводской гарантии?
- можете ли Вы сделать разумный выбор в пользу aftermarket турбокита?
- имеете ли Вы навыки, время, терпение и оборудование, чтобы строить ваш собственный проект?

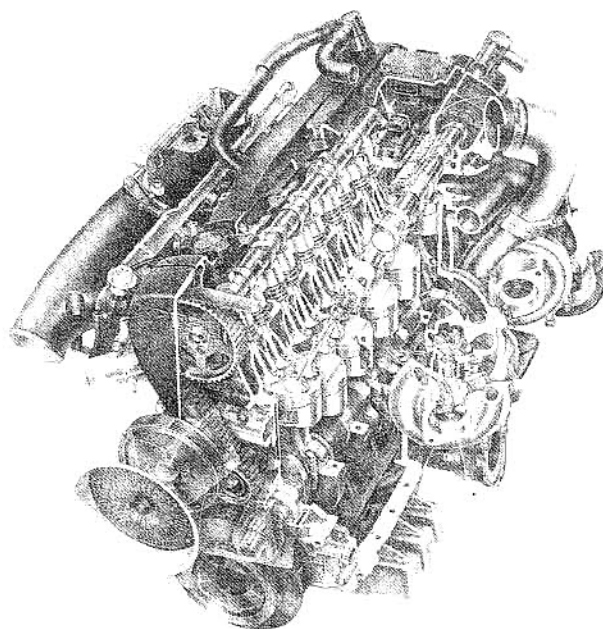
## Серийный автомобиль с турбодвигателем

В течении последних десятилетий у автопроизводителей появились разнообразные конструкции автомобилей с турбонагнетателями.

Можно задаться вопросом некоторой обобщенной классификации этих конструкций с точки зрения технических решений. С одной стороны, существуют Ford EXP Turbo, большинство Крайслеров, и Nissan NX Turbo. С другой стороны, есть нечто вроде Porsche 944, Buick GNX, и Lotus Esprit turbo. Между этими группами есть большое число других автомобилей, все поголовно их рассмотреть трудно, однако во всех них есть интересные нюансы. В большинстве случаев серийный двигатель с турбонаддувом консервативен в плане отдаваемой мощности: это легко понять ввиду различного рода гарантий, ограничений и требований к выхлопу. Вообще говоря, производитель автомобиля не станет оборудовать систему турбонаддува оптимально подобранными деталями. Фактически все серийные конструкции будут иметь некоторые недостатки. Это или размер турбоагнетателя, или качество промежуточного охладителя, или ограничивающая возможности турбодвигателя система выхлопа. Иногда первопричина таких «недоработок» конструкции кроется в обобщенном понимании производителем требований потребительского рынка. В таком случае обнаружение этих причинно-следственных связей и устранение последствий их влияния на конструкцию турбосистемы является задачей номер один для целей получения высоких характеристик двигателя.

*Производители предлагают нам автомобили с приятными потребительскими свойствами, но имеющие вполне достаточно несовершенства, чтобы их мощностные характеристики были далеки от желаемых.*

Рис 2-1. Двигатель Nissan RB26DET, 24-клапанная рядная «шестерка» с турбонаддувом. Две турбины, 2600 кубических сантиметров объема и полный привод обеспечивают экстраординарный потенциал Nissan Skyline GTR.



Первый шаг в достижении более высоких характеристик - полный анализ конструкции системы. Глава «Испытание системы» является Вашей отправной точкой. С накопленными и проанализированными



данными, определив слабые стороны, Вы можете определить узлы, вмешательство в которые необходимо для улучшения системы. Имейте в виду, что стоящая здесь задача - улучшить эффективность (КПД), таким образом открывая потенциал для достижения большой прибавки мощности. Увеличение давления наддува также можно рассматривать как метод достижения желаемого результата, но без мероприятий по увеличению КПД этот путь к приросту мощности чреват механическими проблемами. Как только система будет проверена, и будет определено качество каждого её элемента, начинается процесс усовершенствования, начиная с самого слабого звена. И тут важно уметь заглянуть вперед. Например, промежуточный охладитель, в котором требуется только 0,15 бара давления при номинальном наддуве, может быть оценен как приемлемый. Но то, что хорошо для номинального наддува, может дать потерю 0,2 - 0,25 бара при значительно увеличенном расходе воздуха. Такие потери уже неприемлемы.

### Турбо-кит (комплект деталей) сторонних производителей

Приобретение aftermarket системы турбонаддува - тот самый случай, когда можно использовать эту книгу в качестве подсказки. Необходимо некоторое исследование, чтобы выбрать систему, которая будет удовлетворять Вашим потребностям. Прежде, чем будет принято правильное решение, должны быть найдены и осознаны ответы на разнообразные вопросы. Итак, давайте искать правильный путь:

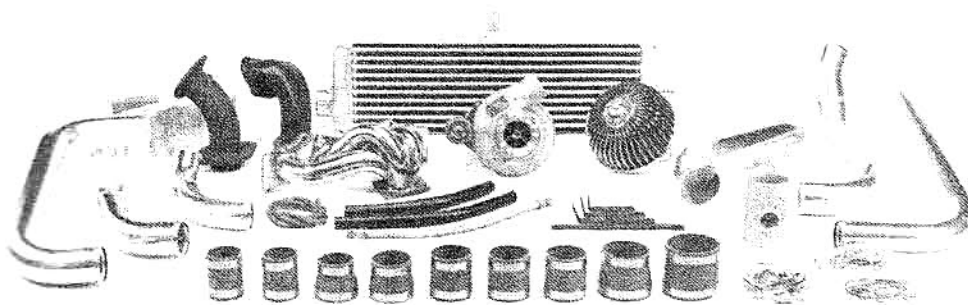


Рис. 2-2. Эта aftermarket система для Scion TC наглядно показывает общепризнанное внимание Greddy к детальности. Система включает в себя все необходимое для установки турбоагрегата.

*Обеспечивает ли система правильное соотношение воздух/топливо при всех эксплуатационных условиях?*

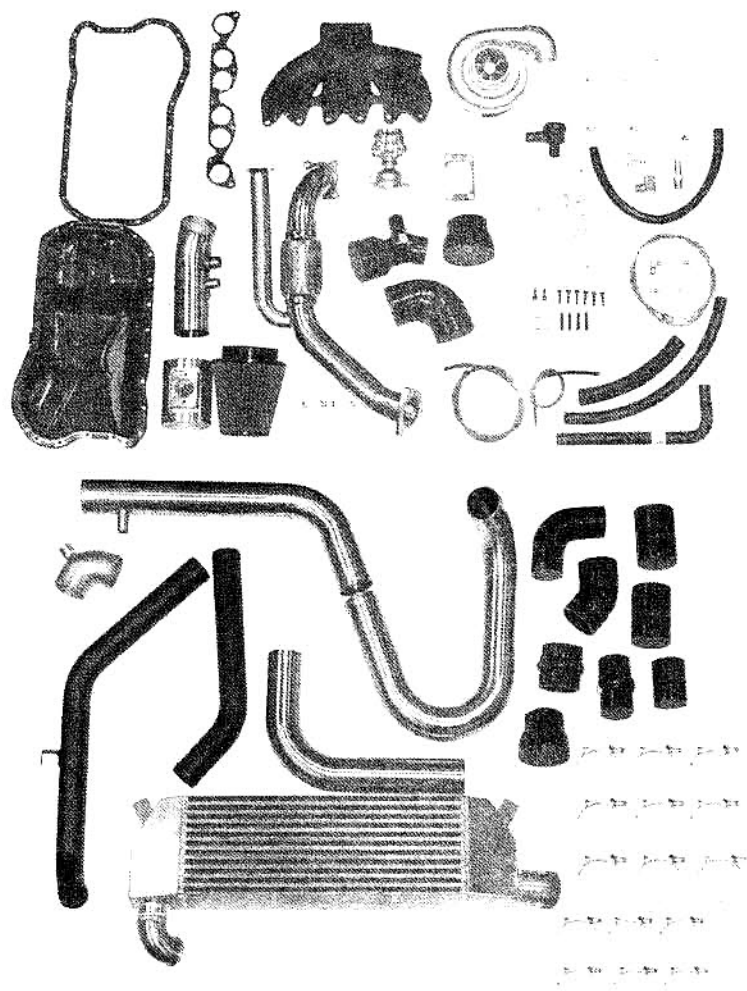
Соотношение воздух/топливо - основа нормальной работы системы турбонаддува. Необходимо поддерживать его во всем диапазоне наддува, который изготовитель заявляет в качестве рабочего для своего комплекта. Это не обязательно означает, что соотношение воздух/топливо будет правильным при выходе за пределы рабочих параметров системы. При любых обстоятельствах, необходимо избежать обсуждения

"топливного обогащения". Либо соотношение воздух/топливо правильное, либо нет, но никакого "обогащения" не требуется.

*Система обеспечивает запас прочности по детонации?*

Вопрос здесь состоит в том, чтобы получить заключение: установленная и работающая в соответствии с инструкцией система выдаст нормальный наддув и не будет являться причиной детонации. Или нет.

*Рис. 2-3. Вариант полной системы - турбокомит для Volkswagen Golf MkIII VR6 от Kinetic Motorsport.*



*Система обеспечивает необходимые средства управления теплотой, чтобы работать на заявленных давлениях наддува?*

Попросите описать и объяснить методы и средства, имеющиеся для такого управления.

*Какие усилия должны быть направлены на проверку качества?*

Точность изготовления и качество окончательной обработки, очевидно. Выбор материалов, методы сварки, качество поверхности и другие процедуры изготовления также должны быть проверены.

*Узлы имеют какую-либо разумную гарантию?*

Хотя гарантийные обязательства на узлы, ориентированные на высокие характеристики, часто серьезно ограничены, покупатель не может быть оставлен совсем без гарантий. Полезно обсудить с изготовителем

набора деталей гарантийные ограничения и процедуры, необходимые для установления лучших сроков действия гарантии.

*Предлагается в комплекте с системой полная инструкция?*

Инструкции должны снабдить Вас всей необходимой информацией для установки, проверки и последующего использования и обслуживания транспортного средства с турбонаддувом.

*Будет ли обеспечена поддержка после продажи?*

Вот в этом аспекте в полной мере проявляется серьезность подхода к бизнесу изготовителя турбосистемы.

*Если система предназначена для использования на дорогах общего пользования, то разработана ли она с соблюдением всех требований к чистоте выхлопа двигателя?*

Во всех государствах вопрос чистоты выхлопа будет принципиально важным.

Когда будут получены ответы на вышеупомянутые вопросы, наступит время переходить к таким деталям как эффективность компрессора и давление наддува.

***Каждый изготовитель турбокитов будет стараться представить свои системы как наиболее мощные. Максимальная мощность - последний аргумент для принятия решения.***

## Постройка Вашей собственной системы турбонаддува

Любой квалифицированный проектировщик не должен иметь никаких серьезных трудностей при проектировании и постройке своей собственной системы турбонаддува. Предусмотрительность, планирование, вычисление, разметка и точные измерения, будут залогом успешного осуществления проекта. Возможно единственная в самом деле серьезная проблема, стоящая перед самодезьщиком - это избежать увязания в проблемах и трудностях. Увязнуть в ходе проекта - это как попасть в тупик, из которого не перескочить в нужное место. Например, Вы не можете надеяться внедрить в вашу систему интеркулер, если Вы строите систему с турбиной расположенной за карбюраторами. Создание форсированного V8 объемом 7500 см<sup>3</sup> с одной турбиной, тогда как совершенно очевидно, что требуется твин-турбонагнетатель, обязательно поставит Вас в положение, в котором Вы «увязнете». Избегайте таких путей, на которых Вы без сомнения "увязнете". Первым шагом должно быть определение желательной величины мощности. Переведите это число в давление наддува, необходимое для достижения результата. Это, само собой, определит необходимое оборудование. Оставшуюся часть проекта поможет реализовать копилка опыта, содержащаяся в этой книге.

## Итоги главы

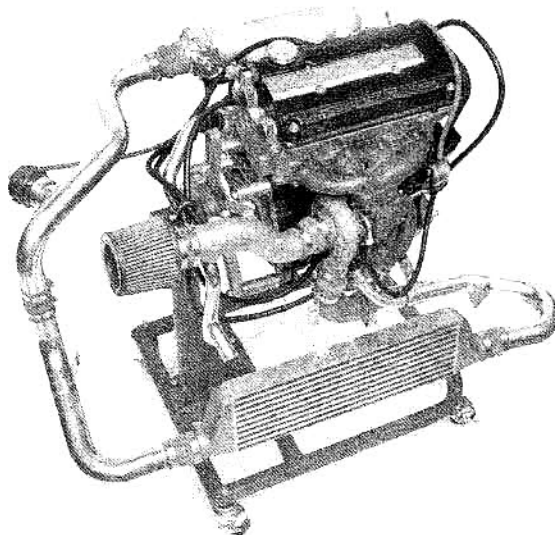
*Почему необходимо правильное соотношение воздух/топливо?*

В основном, правильное AFR означает, что двигатель получает столько топлива, сколько он может эффективно сжечь, без излишков или нехватки. Если Вы ошибаетесь в сторону обогащения (что более бе-



зопасно), характеристика отклоняется, потому что богатая смесь понижает температуру сгорания. Бедные смеси приводят к увеличению температуры газов в цилиндре, способствуя детонации.

*Рис. 2-4. Полный турбокомит для Honda Civic от Edelbrock. Комплект включает все необходимое для установки системы турбонаддува на автомобиль.*



*Что значит "топливное обогащение"?*

"Топливное обогащение" означает, в понимании aftermarket производителей, нерасчитанный впрыск топлива в систему. Нерасчитанный, потому что при этом неизвестно, каков фактический расход воздуха. Любой изготовитель турбокомита, который использует эту фразу, будет снабжать свой комплект устройством для нерасчитанного впрыска топлива. Никогда не спрашивайте изготовителя турбокомита, что он использует для топливного обогащения, лучше спросите: "Как Вы обеспечиваете правильное AFR при высоком уровне наддува, и можете ли Вы доказать это мне?" Каждый изготовитель турбокомита заявляет, что в наборе деталей находится необходимое оборудование для обеспечения правильного соотношения воздух/топливо. Вовсе не обязательно, что это правда. Убедитесь в этом, поскольку эта составляющая системы турбонаддува имеет самое большое значение.

*Какие устройства используются для поддержания правильного соотношения воздух/топливо?*

Самое плохое устройство - это отсутствие такого устройства. Возможно, такой вариант и является самым популярным. Это устройство также является наиболее легким в установке. Другое, также неудачное устройство - чувствительный к давлению наддува датчик, который посылает ложный сигнал температуры охлаждающей жидкости в EFI. Это абсолютно нефункциональная штукавина, принцип действия которой состоит в попытке увеличить подачу топлива при наличии давления наддува, увеличивая длительность импульса инжектора. Таким образом можно удвоить подачу топлива на средних оборотах, но на максимальных оборотах удастся прибавить лишь приблизительно 10 % топлива. Смысл последовательного электронно-управляемого впрыска топлива (EFI) заключается в том, что длина импульса форсунки на ре-

время максимального момента по существу постоянна. Отношение этой фиксированной длительности импульса форсунки к продолжительности цикла двигателя при росте оборотов становится всё большим.

В конце концов, достигается такая точка, в которой время цикла двигателя такое же, как длительность импульса форсунки на режиме максимального момента, после этого форсунка будет открыта постоянно. Это является причиной, по которой увеличение длительности открытия форсунки, при помощи любого устройства вообще, не может обеспечивать достаточно топлива для двигателя с турбонаддувом при максимальной частоте вращения этого двигателя.

Результатом работы "выключателя топливного обогащения" является в лучшем случае, плохо работающий, склонный к детонации двигатель. Выключатель топливного обогащения в системе впрыска — источник возможно 75 % связанных с турбонагнетателем ужасных историй. Избегайте такого варианта конструкции.

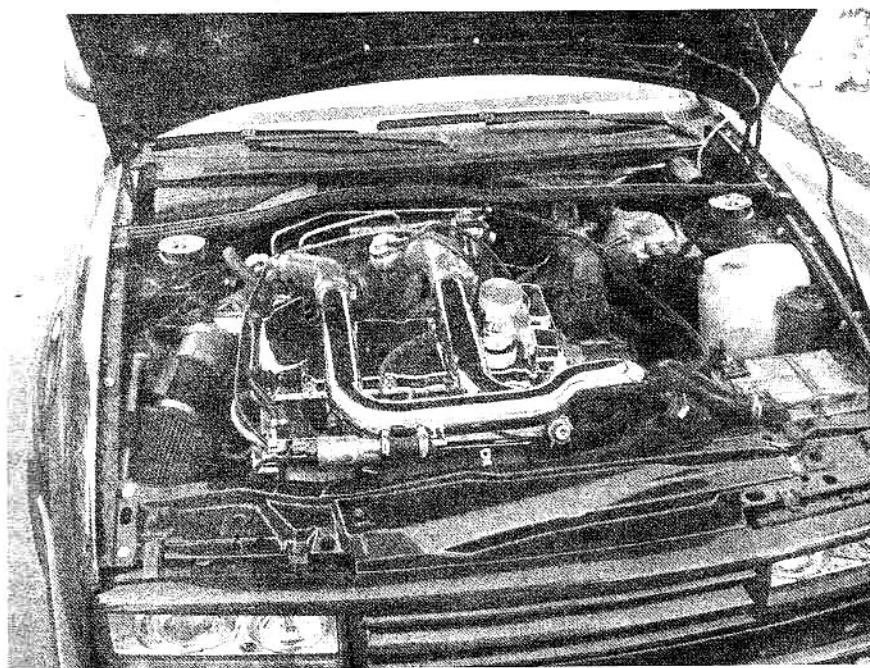


Рис. 2 5. Volkswagen Corrado с двигателем VR6, оснащённым двумя турбонагнетателями.

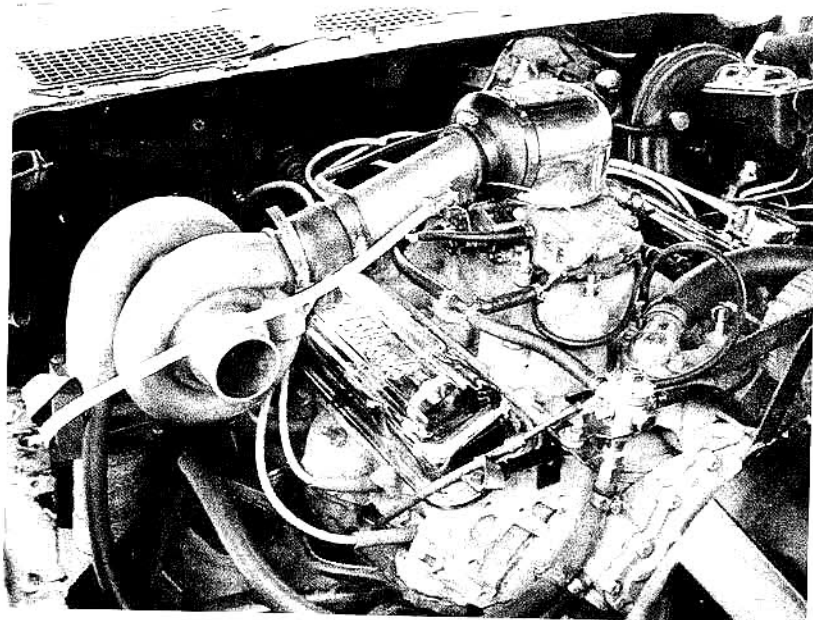
Другая популярная схема состоит в том, чтобы производить обогащение смеси пропорционально давлению наддува. Хотя этот способ уже получше, это все еще является технической ерундой. Такая ситуация складывается потому, что то же самое количество топлива было бы добавлено при 3000 оборотах в минуту и 0,5 бара наддува как и при 6000 оборотах в минуту и 0,5 бара наддува. Очевидно, требуемое количество топлива удвоится при увеличенных вдвое оборотах двигателя, но управляемый давлением наддува регулятор топлива добавил бы то же самое количество топлива независимо от оборотов. Этот механизм управления неприемлем.

Установка более производительных форсунок — вот правильный подход к увеличению подачи топлива. Само собой, потребуются некоторые вмешательства, чтобы понизить расход топлива через более производительные форсунки на низких оборотах, чтобы на этих режимах не происходило большого обогащения смеси. Это может быть достигнуто путем перепрограммирования блока управления или коррекции

сигналов расходомера. При давлениях наддува более чем 0,6 - 0,8 бара, установка форсунок большей производительности становится попросту необходимостью.

Другое популярное устройство - лямбда-зонд (датчик содержания кислорода в выхлопных газах), используемый для обеспечения обогащения на режимах с положительным давлением наддува. Лямбда-зонд может корректировать состав смеси приблизительно на 8 %, что, учитывая возросшее на 50 % количество воздуха (при давлении наддува 0,5 бара), приведет к работе двигателя при недопустимом обеднении смеси. Этот метод, мягко говоря, неудачен.

Рис. 2-6. Проект системы турбонаддува для карбюраторного двигателя Pontiac V8. Отсутствие промежуточного охладителя и использование турбокомпрессора от дизельного грузовика делают систему дешевой и простой.



*Что такое помпаж компрессора, и как его можно избежать?*

Помпаж компрессора - быстрые колебания оборотов турбины, вызванные закрытием дроссельной заслонки при наличии давления наддува. Когда такое происходит, быстро вращающийся воздушный компрессор (турбина) попадают в неустойчивый режим работы. Колебания скорости могут быть разрушительны для турбонагнетателя и сопровождаются неприятным шумом. Этого можно избежать, используя байпасный клапан компрессора, который открывается при закрытии дроссельной заслонки и позволяет вернуть воздух, выходящий из нагнетателя, обратно на его вход. При закрытом дросселе это предотвращает резкое уменьшение расхода воздуха через компрессор. Многие современные турбоавтомобили оборудованы таким клапаном, но редко размеры этих клапанов достаточно велики, чтобы обеспечивать нормальную работу при большом расходе воздуха в системах с высоким давлением наддува. Полезной стороной этих клапанов является то, что они понижают инерционность системы и ощутимо способствуют экономии топлива.

*Какова разумная цена системы турбонаддува?*

Самая дешевая система должна иметь

- турбонагнетатель заданного размера

- правильное соотношение воздух/топливо при наддуве
- регулирование давления, путем управления оборотами турбины
- обеспечение требуемого угла опережения зажигания
- необходимые средства контроля температуры
- запас по детонации
- качественные узлы

Такая система имеет хорошие аргументы для того, чтобы считаться оптимальной. Распространено выражение «как заплатишь – так и поедешь», но имеются турбокиты стоимостью почти \$4500, которые не обеспечивают правильного соотношения воздух/топливо или не имеют даже стального выпускного коллектора. Наоборот, имеются комплекты деталей, в которых есть все вышеупомянутое, по цене меньше, чем \$2500. Разумная цена? Это должно остаться решением потенциального покупателя, основанном на четком понимании того, на что он собирается потратить деньги.

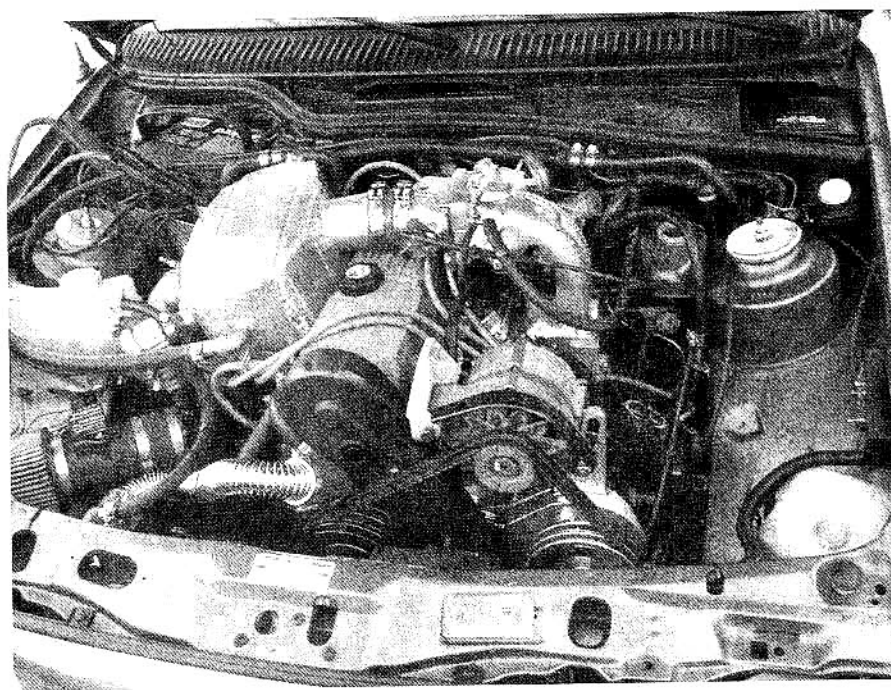


Рис. 2-7. Разработанная и установленная своими силами турбосистема для Ford Mercur XR4Ti. В систему был установлен промежуточный охладитель воздуха/жидкость для улучшения отклика двигателя на давление наддува.

*Какие документы должны быть в комплекте деталей?*

Инструкции и гарантия, разумеется. Перечень предостережений и руководство по эксплуатации должны быть детальными и понятными.

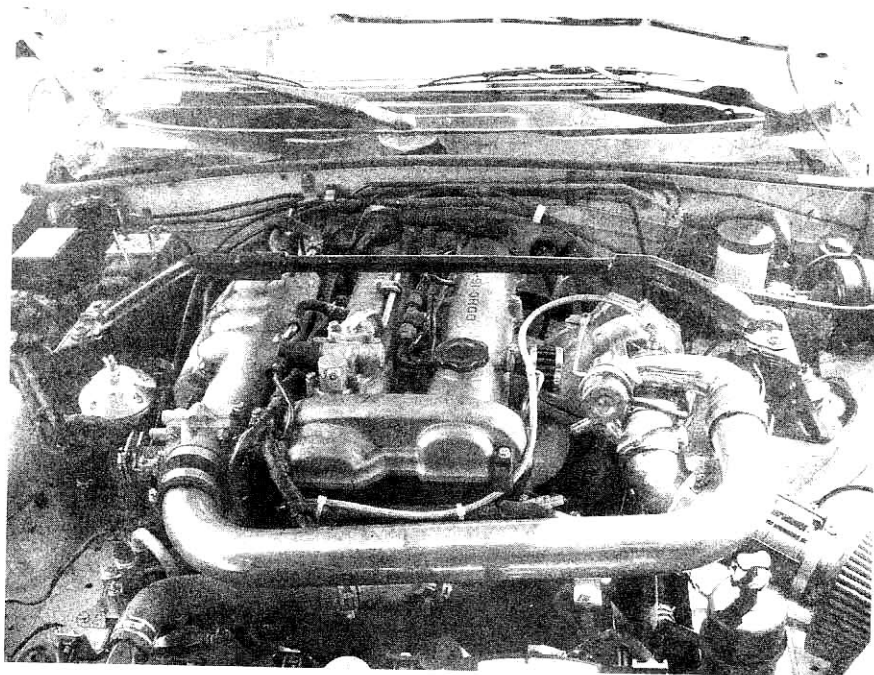
*Что будет с гарантией при монтаже турбонагнетателя на новый автомобиль?*

Вся гарантия производителя на узлы силовой установки будет утрачена. Имеется, однако, несколько обстоятельств, которые необходимо рассмотреть. Вы можете купить гарантию aftermarket производителя, чтобы застраховаться от проблем, не связанных с установкой турбонагнетателя. Такой вариант в настоящее время является распространённым при продаже систем турбонаддува, при этом складывается неправильное представление, что ваша силовая установка гарантирована от неисправностей, связанных с установкой наддува.



Если кто-то ломает свой двигатель с установленным турбонаддувом стороннего изготовителя, ремонт не будет оплачен по гарантии. Но ровно так же, как если бы кто-то дождался окончания заводской гарантии на двигатель и затем установил турбонагнетатель. Это означает,

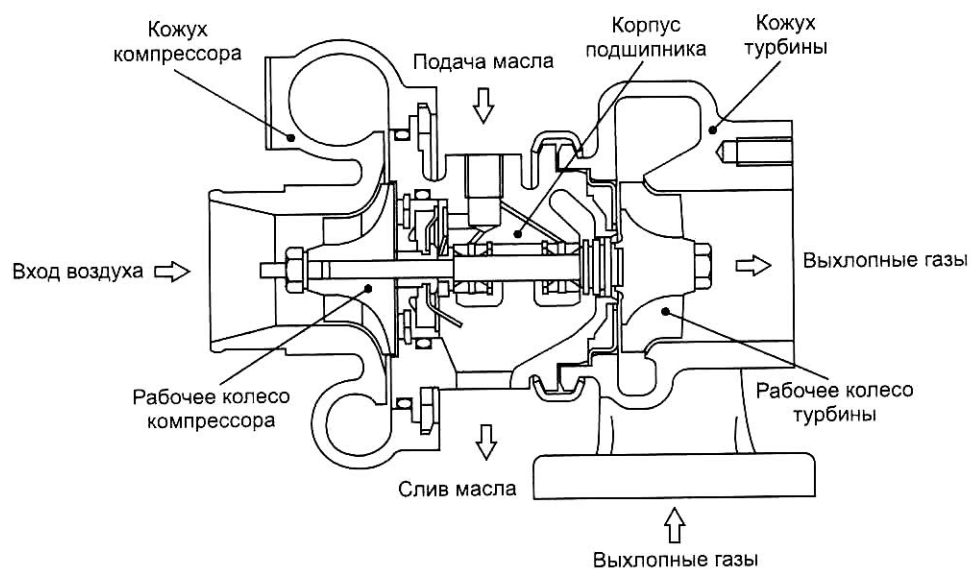
*Рис. 2-8. Простая и недорогая система турбонаддува, установленная на Mazda Miata. Из соображений стоимости в ней отсутствует промежуточный охладитель, однако это не мешает ей хорошо выполнять свои задачи.*



что пережидание сроков заводской гарантии перед монтажом турбонагнетателя не является ничем иным, как доведением двигателя до состояния изношенности на одну треть ресурса перед установкой турбонаддува. Кроме того, это лишает вас удовольствия от обладания хорошим новым автомобилем с увеличенной мощностью. Проблемы с силовой установкой в пределах гарантийного срока - редкость для современного автомобиля. Те проблемы, которые всё же появляются - довольно незначительны, а их устранение будет, скорее всего, стоить менее сотни долларов. Консервировать гарантию на многие тысячи километров, чтобы избежать возможной стодолларовой неисправности, вместо того, чтобы уже давно наслаждаться дополнительной мощностью - неудачный выбор. Чтобы устранить Ваше беспокойство, посетите региональный офис автомобильного производителя, и обсудите с персоналом вопросы гарантии на силовую установку.

## Выбор турбонагнетателя

Размер турбонагнетателя, выбранного для проекта, значительно влияет на степень успеха, который будет иметь система. Это никоим образом не значит, что нагнетатель только этого размера будет работать при заданных условиях, прежде всего это означает, что данный будет работать лучше всего. Компромиссы между задержкой, порогом наддува, тепловыделением, моментом на низких оборотах и мощностью – это переменные оптимизационной модели в процессе определения соответствия турбонагнетателя предъявляемым требованиям. Эти требования могут быть уточнены путем внесения в список обязательных рабочих характеристик для данного транспортного средства.



*Рис. 3-1. Классический турбонагнетатель: высокотехнологичный, точно изготовленный нагнетатель воздуха.*

Цели могут быть различны в случаях автомобилей для повседневного использования, автомобилей с рекордной максимальной скоростью, автомобилей для дрег-рейсинга, уличных суперкаров, настоящих гоночных автомобилей, и даже для транспортных средств, называемых пикапами. Определяющими критериями будут параметры вроде желательного порога наддува, пика момента и расчетной мощности. Транспортные средства с высокой максимальной скоростью требуют больших турбин, уличные автомобили более требовательны к моменту на средних оборотах, а низкоскоростные утилитарные транспортные средства нуждаются в меньших турбинах. Как выбрать подходящий турбонагнетатель в каждом конкретном случае и какие нюансы наиболее важны, обсуждается в следующих параграфах.

Чтобы пояснить, насколько могут различаться турбонагнетатели различного назначения, сравним эти устройства на Nissan 300ZX и на Porsche 911. Эти два автомобиля имеют сходные размеры, вес и рабочий объем двигателя, и все же их турбины существенно различаются. По размеру турбонагнетателя Porsche достаточно легко заметить, что конструкторы Porsche точно знали, что они хотели. Они установили большой турбонагнетатель на 911 по трем основным причинам:

- при работе на максимальной нагрузке большой компрессор меньше нагревает сжимаемый воздух
- большая турбина создает меньшее противодавление в выпускном коллекторе, также сокращая тепловую нагрузку
- разработчики хотели получить мощный автомобиль

Конструкторы Nissan, с другой стороны, имея намного более благоприятный с точки зрения тепловыделения двигатель с водяным охлаждением, были свободнее в выборе турбонагнетателя для почти немедленной реакции прямо с холостых оборотов. Этот небольшой турбонагнетатель дает быструю реакцию наддува в обмен на крайне высокое противодавление на выпуске и высокую температуру воздуха на впуске. Nissan, очевидно, не стремился получить серьезную мощность, поскольку они не посчитали необходимым установить какой-нибудь интеркулер для снижения этой высокой температуры. Их целью, кажется, был автомобиль, нацеленный на разгон от 0 до 60 км/ч. Конечно, они были нацелены на совершенно не такого покупателя, каким является клиент Porsche. Хотя Porsche был объявлен всеми его дорожными испытателями ярчайшим примером конструкции с высокоинерционным турбонагнетателем, этот путь был выбран из-за меньшего нагрева. Небольшие турбонагнетатели не могли быть использованы на 911 вследствие тепловых ограничений двигателя с воздушным охлаждением, и, конечно, из-за того, что целью была серьезная мощность. Porsche, тем не менее, вполне можно назвать примером замечательно выполненной работы. Nissan же выступает в качестве примера продажи большого количества автомобилей большому количеству людей.

*Никогда не посылайте ребенка делать работу взрослого.*

### Базовые руководящие принципы

Влияние размеров компрессора и турбины на характеристики системы будет целиком следовать этим руководящим принципам:

## Компрессор

Компрессор имеет определенную комбинацию расхода воздуха и давления наддува, при которой он является наиболее эффективным. Хитрость в выборе оптимального размера компрессора состоит в том, чтобы расположить точку максимальной эффективности в наиболее используемом диапазоне оборотов двигателя. В процессе выявления наиболее полезного диапазона оборотов придется немного подумать. Не забывайте, что всегда, когда эффективность компрессора снижается, тепловыделение, производимое турбонагнетателем, увеличивается. Если был выбран такой размер турбонагнетателя, что максимальная эффективность приходится на первую треть диапазона оборотов двигателя, эффективность на максимальных оборотах и в близких к тому режимам будет настолько низкой, что температура воздуха на впуске будет просто обжигающей. В другом крайнем случае, если максимальная эффективность системы достигается ближе к предельным оборотам двигателя, температура на средних оборотах вполне способна выйти за разумные пределы. Нагнетатель такого размера был бы полезен только для двигателя, работающего на этих оборотах, вроде мотора автомобиля Bonneville. Где-то в середине диапазона оборотов двигателя находится наилучшее место, чтобы расположить там точку максимальной эффективности компрессора.

Большие или малые размеры компрессора не оказывают критического влияния на инерционность турбонагнетателя или на порог наддува. Рабочее колесо компрессора - самая легкая вращающаяся часть турбонагнетателя, следовательно, его вклад в полную инерцию вращающегося ротора довольно низок. Порог наддува - главным образом функция скорости турбонагнетателя, которая управляется турбиной.



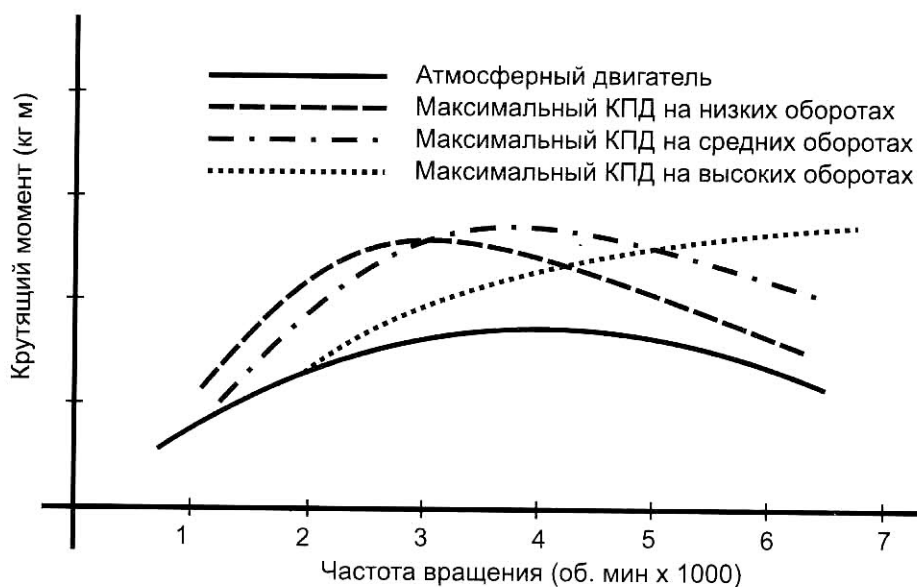
Рис. 3-2. С небольшим турбонагнетателем точка максимальной эффективности достигается рано, и минимум тепловыделения будет на низких давлениях наддува. Чтобы снизить температуру при достижении большой мощности, необходим большой турбонагнетатель.

Часто выбор турбонагнетателя производится под влиянием других факторов, а не из соображений оптимальной термодинамики или максимальной мощности. Стоимость автомобиля, например, может определять число турбин. Нелепо было бы надеяться увидеть Ferrari V-



12 с одним турбоагнетателем или Mazda Miata с двумя. Стоимость также играет важную роль при проектировании деталей системы. Если требуется низкая цена, возможно даже отказаться от жидкостного охлаждения корпуса подшипника в пользу более частой замены масла.

Рис. 3-3. Когда точка максимальной эффективности находится на более высоких оборотах, это означает более низкую температуру воздуха в этом режиме. Более низкая температура даёт более плотный воздух, который обеспечивает пик момента на более высоких оборотах.



В конечном счете, реальная потребительская ценность выбранного оборудования будет зависеть не только от мощности, термодинамических коэффициентов или числа турбин. Скорее, это будет выражаться в том, каким образом Ваша машина ведет себя на дороге. Она в самом деле быстра, и ее скорость прекрасно Вами ощущается? Она действительно отзывчива на педаль и легко бежит? Она плавно и непринужденно разгоняется до максимальных оборотов? Она заставляет Вас улыбаться, когда никто вокруг не увидит вашей улыбки?

Начните с выбора нескольких кандидатов на роль Вашего компрессора, чьи степень повышения давления и расход воздуха, согласно их картам, находятся в требуемом диапазоне оборотов при значении эффективности не ниже 60 %. Когда Вы отсеете заведомо непригодные устройства и остановитесь на двух-трех вариантах, необходимо будет произвести некоторые расчеты, чтобы выбрать между ними.

### Турбина

Задача турбины - осуществлять привод компрессора, при этом она должна раскручивать его до достаточных оборотов, чтобы он мог обеспечить требуемый расход воздуха при заданном давлении наддува. Небольшая турбина будет вращаться быстрее, чем большая при той же энергии выхлопных газов. Однако меньшая турбина является большим сужением на пути потока этих газов, что приводит к образованию обратного давления между турбиной и камерой сгорания. Обратное давление - нежелательный побочный эффект турбоагнетателя, и нужно иметь это в виду. В действительности, при выборе турбины нужно ориентироваться на обороты, достаточные для обеспечения желаемой реакции и давления наддува, воздерживаясь от минимизации обратного давления.

### Выбор размера компрессора

Необходимо выработать в себе понимание требуемых степени повышения давления, расхода воздуха, его плотности и эффективности компрессора прежде, чем приступить к выбору компрессора подходящего размера.

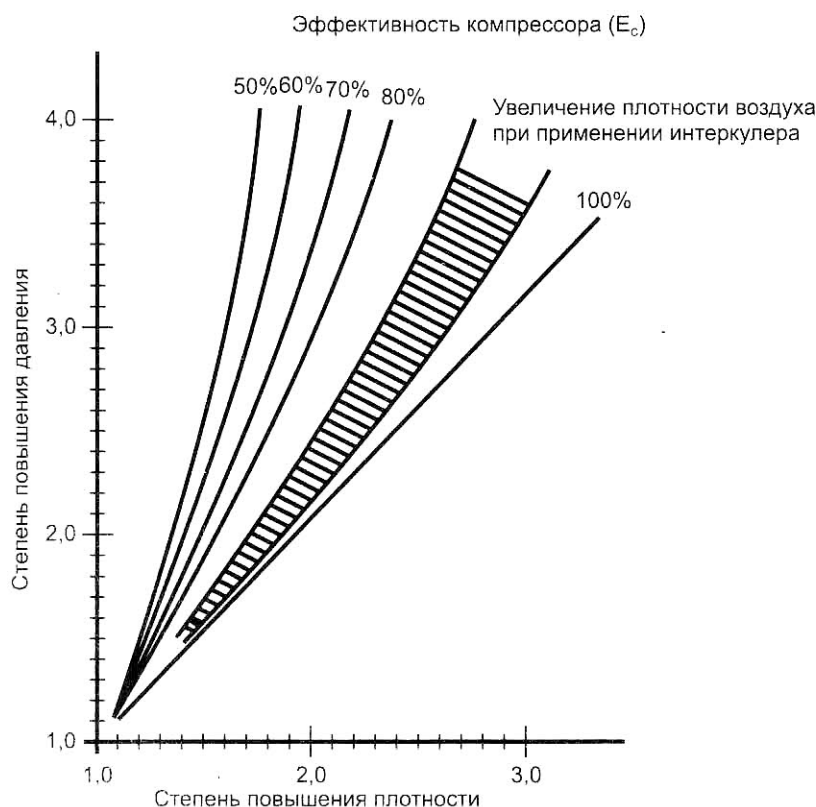


Рис. 3-4. Зависимость относительной плотности от степени повышения давления. Плотность падает при увеличении температуры; поэтому фактическая степень увеличения массы воздуха всегда меньше чем степень повышения давления.

### Степень повышения давления

Степень повышения давления рассчитывается как полное абсолютное давление, произведенное нагнетателем, разделенное на атмосферное давление. Абсолютное давление означает давление выше ноля. Отсутствие давления это ноль, атмосферное абсолютное давление составляет 1 бар. 0,5 бара наддува создают 1,5 бара абсолютного давления, 0,8 бара наддува это 1,8 бара абсолютного давления и так далее. Таким образом, абсолютное давление – это показания манометра плюс 1 бар. Другими словами, степень повышения давления является значением произведенного давления относительно атмосферного.

$$\text{Степень сжатия} = \frac{1 + \text{наддув}}{1}$$

Пример:

Для наддува 0,5 бар:

$$\text{Степень сжатия} = \frac{1 + 0,5}{1} = 1,5$$

В этом примере в двигатель с наддувом попадет приблизительно на 50 % больше воздуха, чем в двигатель без наддува. Для наддува 0,9

бар:

$$\text{Степень сжатия} = \frac{1 + 0,9}{1} = 1,9$$

В этом случае в систему будет попадать приблизительно на 90 % большее количество воздуха.

### Относительная плотность

В конечном счете, мощность, полученная от использования турбонаддува, зависит от числа молекул воздуха, упакованных в каждый кубический сантиметр объема. Это называется плотностью воздушного заряда. При прохождении через систему турбонаддува плотность немного изменяется. Когда воздушные молекулы принудительно «утрамбовываются» в нагнетателе до некоторой степени сжатия, плотность не увеличивается на то же самое значение, потому что при сжатии увеличивается температура, и воздух расширяется обратно в прямой зависимости от того, насколько он нагрет. Хотя воздушный заряд после сжатия окажется более плотным, его плотность будет всегда меньше, чем степень повышения давления, как показано на рисунке 3-4. Усилия разработчиков, направленные на использование эффективных компрессоров и промежуточных охладителей позволяют относительной плотности все ближе и ближе приблизиться к значению степени сжатия, но полное совпадение величин никогда не достигается.

### Расход воздуха

Расход воздуха через двигатель обычно измеряется в кубических метрах воздуха в минуту при стандартном атмосферном давлении. Технически правильный но реже используемый термин - килограммы в минуту. Мы будем использовать полуправильный термин «кубические метры в минуту».

Для вычисления расхода воздуха в двигателе без турбонагнетателя т.е. при отсутствии наддува:

$$\text{Расход воздуха} = \frac{\text{Объем} \times \text{обороты} \times 0,5 \times E_v}{1000000}$$

Здесь расход воздуха выражается в м<sup>3</sup>, а объем в см<sup>3</sup>. 0,5 означает, что у четырехтактного двигателя воздух в цилиндр поступает только во время одного оборота из двух, E<sub>v</sub> - объемная эффективность. Число 1000000 служит для конвертации кубических сантиметров в кубические метры.

Пример:

Пусть объем двигателя = 2000 см<sup>3</sup>, частота вращения двигателя = 5500 мин<sup>-1</sup>, и E<sub>v</sub> = 85 %.

Тогда

$$\text{Расход воздуха} = \frac{2000 \text{ см}^3 \times 5500 \text{ мин}^{-1} \times 0,5 \times 0,85}{1000000} = 4,675 \text{ м}^3 / \text{мин}$$

Определив изначальный расход воздуха через двигатель, можно найти итоговый расход при работе с наддувом. Степень повышения давления, умноженная на расход воздуха через двигатель, даст нам искомый расход (при пренебрежении объемным к.п.д.). В двигателе объемом 2000 см<sup>3</sup>, работающем с наддувом 0,8 бара:

Расход воздуха = Повышение давления × Базовый расход воздуха =  $1,8 \times 4,675 \text{ м}^3/\text{мин} = 8,415 \text{ м}^3/\text{мин}$

Чтобы преобразовать  $\text{м}^3/\text{мин}$  к более правильному термину  $\text{кг}/\text{мин}$ ,  $\text{м}^3/\text{мин}$  надо умножить на плотность воздуха на высоте географического места (см. таблицу 3-1).

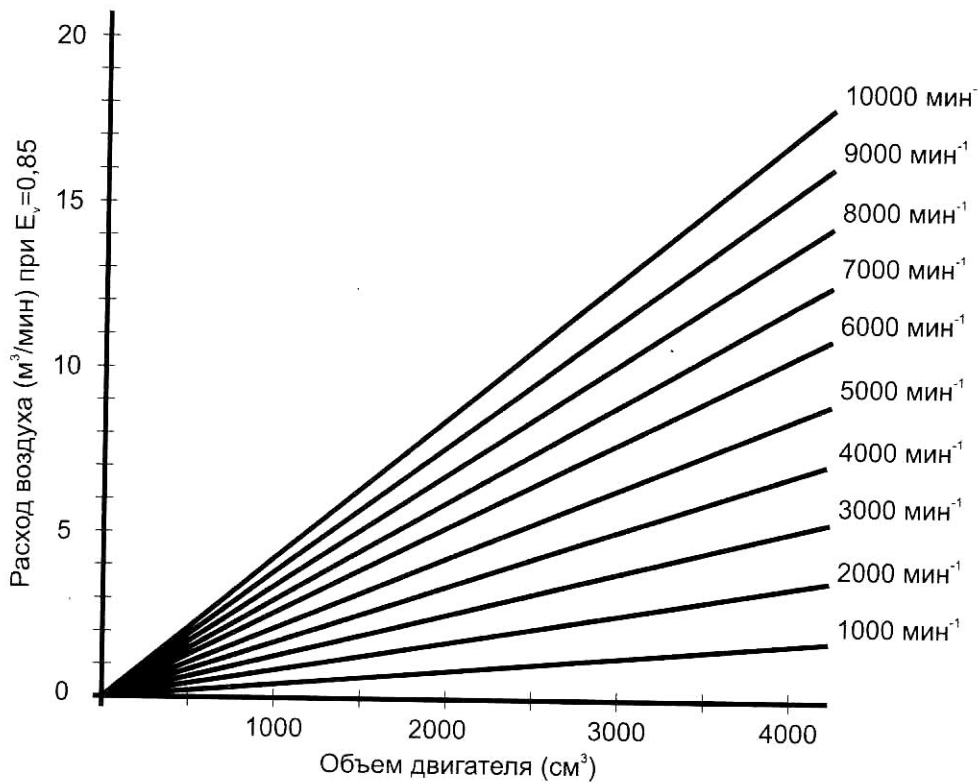


Рис. 3-5. Значение расхода воздуха для четырехтактных двигателей. Выберите объем двигателя (ось абсцисс) и обороты в минуту, на оси ординат отсчитайте расход.

### КПД компрессора

Эффективность (КПД) компрессора – это показатель того, как хорошо компрессор может сжимать воздух, не нагревая его в большей степени, чем диктуют законы термодинамики. Термодинамика говорит, что температура воздуха должна увеличиваться пропорционально степени повышения давления. Такое увеличение температуры наблюдалось бы в идеальных условиях. Однако фактически температура всегда выше, чем в термодинамических расчетах. Измеренное увеличение температуры, конечно, является фактической температурой. Эффективность (КПД) – расчетное увеличение температуры, разделенное на её фактическое увеличение. По сути, эффективность – мера термодинамического совершенства компрессора.

Центробежные компрессоры имеют максимальный КПД порядка 70%. Выбор размера компрессора становится, главным образом, вопросом того, где достигает максимума эффективность компрессора относительно характеристик расхода системы двигатель/турбина.

Если Вам понятен физический смысл степени повышения давления, относительной плотности, расхода воздуха и эффективности компрессора, основная информация, необходимая для выбора компрессора под Ваши задачи, находится у Вас в руках. Принято считать, что до 0,5 бара – низкое давление наддува, 0,5 - 0,8 бара – среднее, и более 0,8 бара – высокое давление наддува. В дальнейшем, на примере двигателя объе-

мом 2000 см<sup>3</sup> с несколькими вариантами компрессоров будут показаны примеры вычислений и поиска максимума эффективности. На рис. 3-6 показано влияние эффективности компрессора на температуру впускного воздуха.

Вообще, КПД компрессора без промежуточного охладителя должен составлять по меньшей мере 60%. Если система включает промежуточный охладитель, минимальный КПД может быть несколько меньше (см. главу "Промежуточное охлаждение").

Таблица 3-1. Зависимости давления воздуха, температуры и относительной плотности от высоты места

| Высота над уровнем моря (м) | Атмосферное давление (кг/см <sup>2</sup> ) | Температура(°С) | Относительная плотность |
|-----------------------------|--|-----------------|-------------------------|
| 0                           | 1,03                                       | 15              | 1,00                    |
| 200                         | 1,00                                       | 13,7            | 0,98                    |
| 400                         | 0,98                                       | 12,4            | 0,96                    |
| 600                         | 0,96                                       | 11,1            | 0,94                    |
| 800                         | 0,93                                       | 9,8             | 0,93                    |
| 1000                        | 0,91                                       | 8,5             | 0,91                    |
| 1200                        | 0,89                                       | 7,2             | 0,89                    |
| 1400                        | 0,87                                       | 5,9             | 0,87                    |
| 1600                        | 0,85                                       | 4,6             | 0,85                    |
| 1800                        | 0,83                                       | 3,3             | 0,84                    |
| 2000                        | 0,81                                       | 2,0             | 0,82                    |
| 2200                        | 0,79                                       | 0,7             | 0,80                    |
| 2400                        | 0,77                                       | -0,6            | 0,79                    |
| 2600                        | 0,75                                       | -1,9            | 0,77                    |
| 2800                        | 0,73                                       | -3,2            | 0,75                    |
| 3000                        | 0,71                                       | -4,5            | 0,74                    |

Имея расчетные величины расхода воздуха и степени повышения давления на примере двигателя объемом 2000 см<sup>3</sup>, любой вполне способен взять в руки карты компрессоров и проверить, где расположена максимальная эффективность каждого из них, чтобы выбрать наиболее подходящий. Построим расчетные данные: расход воздуха 8,415 м<sup>3</sup>/мин и PR = 1,8 на осях карты компрессора. Пересечение этих двух линий показывает максимальный расход, который компрессор может обеспечить при выбранной степени повышения давления, и эта точка отображает эффективность в процентах на каждой карте. Таким образом, мы можем узнать КПД в этой точке, которая устанавливает пригодность того или иного компрессора для нашего конкретного применения. На рисунке 3-7 пересечение этих линий находится на линии 75%. На рисунке 3-8 пересечение находится графически в точке максимальной эффективности, однако КПД будет всего около 71%. На карте компрессора теперь наглядно видно, что компрессор Garrett GT2557R хотя и подходит по своей эффективности, но его максимальная эффективность меньше чем компрессора Garrett GT2860RS.

Характеристики переходных процессов компрессора в случае конкретного применения также должны быть исследованы перед окончательным выбором. Это может быть сделано довольно простым способом. Предположим, что желаемая степень сжатия достигается на 50 % от максимальных оборотов двигателя. Отметьте эту точку на диаграмме компрессора. Выше был упомянут пример с оборотами в минуту = 2750, что соответствует точке с расходом воздуха 4,27 м<sup>3</sup>/мин и PR = 1,8. Постройте линию от этой точки до точки, соответствующей PR = 1 и значению расхода, равному 20% от максимального, что в нашем случае составит 1,68 м<sup>3</sup>/мин. Принципиально важно, чтобы эта линия полностью располагалась справа от линии на карте компрессора, обозначенной как граница помпажа. Граница помпажа (граница устойчивой работы) не всегда подписывается на картах компрессора, но Вы можете смело полагать, что ею является крайняя левая линия. Этот пример показывает, что компрессор Garrett GT2557R, при КПД 71%, лучше подходит для выбранного применения чем Garrett GT2860RS, с КПД 75%.

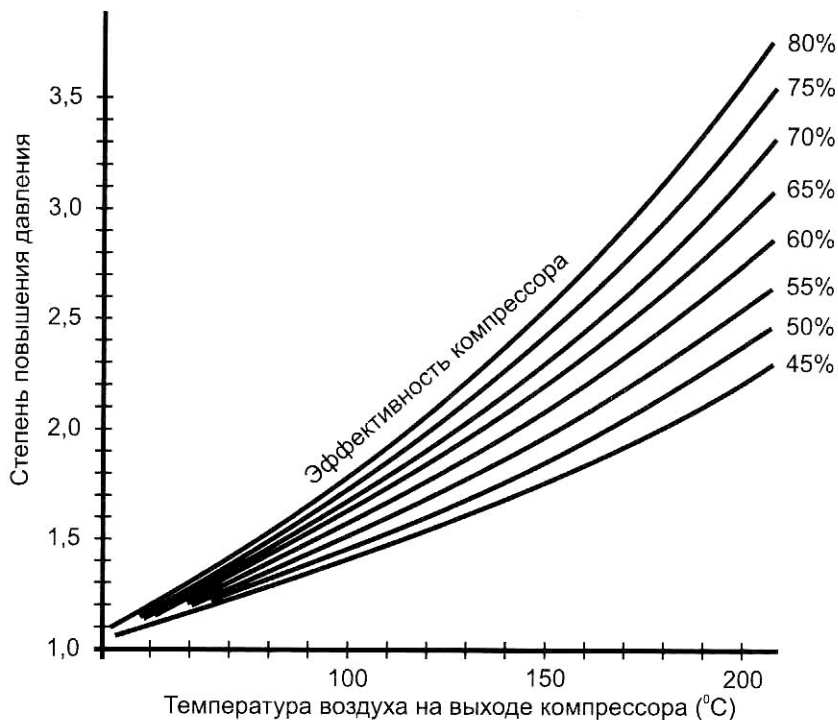


Рис. 3-6. Температура нагрева воздуха в компрессоре в зависимости от степени повышения давления. Вот почему все хотят обеспечить самую высокую возможную эффективность компрессора: большая эффективность – более низкая температура.

### Выбор размера турбины

Предполагаемое применение системы двигатель+турбоагнетатель является также основным критерием при выборе размера турбины, поскольку определяет выбор между моментом на низких, средних или максимальных оборотах двигателя.

При этом выборе приходится иметь дело с двумя величинами: основной размер турбины и отношение площадь/радиус (A/R).

#### Основной размер турбины

Предполагается, что основной размер турбины характеризует её способность производить мощность на валу, необходимую для привода



компрессора при желаемом расходе воздуха. Поэтому большие турбины, вообще говоря, обеспечивают более высокие отдаваемые мощности, чем небольшие. Для простоты картины оценивать размер турбины можно по диаметру её выходного отверстия. Строго говоря, это является упрощением теории турбин, однако на практике такой подход даёт возможность оценить способность турбины обеспечить тот или иной расход.

Рис. 3. 7. Компрессор Garrett GT2860RS. Цифры справа – число оборотов турбины в минуту. Видно, что линия соединяющая точки  $PR=1$  и  $PR=1,8$  проходит за границей устойчивой работы компрессора.

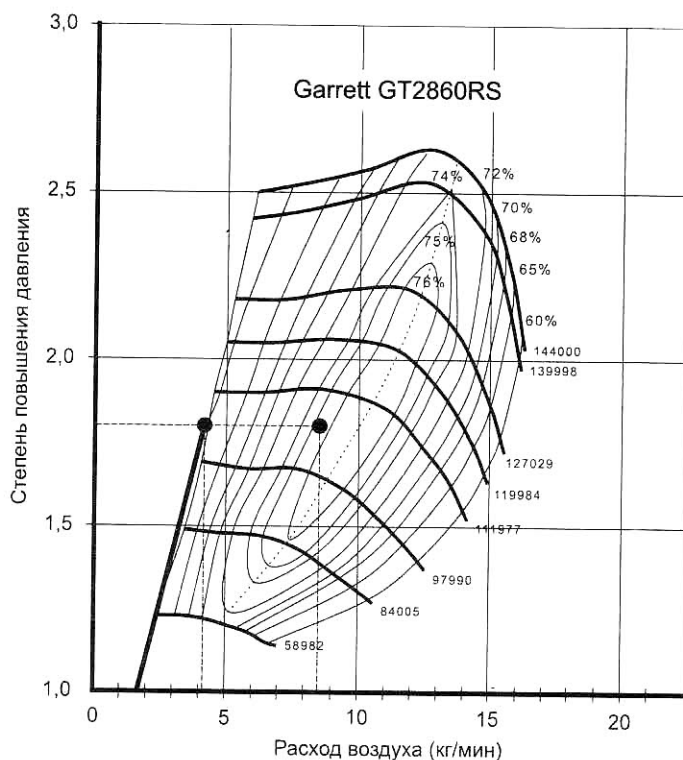


Рис. 3-8, Компрессор Garrett GT2557R, не смотря на КПД, меньший чем у Garrett GT2860RS, лучше подходит для заданного применения.

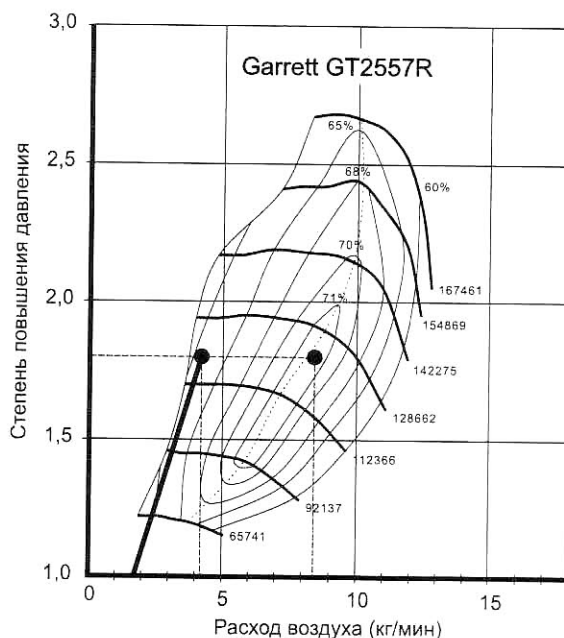


Диаграмма диаметра выходного отверстия турбины относительно расхода воздуха на впуске - не точный инструмент для выбора, но приблизительный критерий первоначального отсеивания.

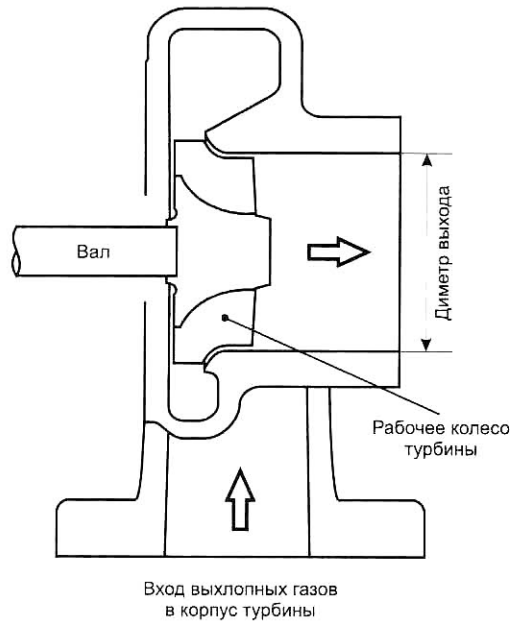


Рис. 3-9. Определение диаметра выходного отверстия

Разумный метод выбора турбины состоит в том, чтобы проконсультироваться с источником, у которого Вы приобретаете турбоагнетатель. Конечно, при выборе будет существовать возможность допустить ошибку в ту или иную сторону. И так как выбор происходит в пределах первоначального предназначения системы турбонаддува; имеет смысл выбирать каждый раз запас в большую сторону.

### Выбор отношения A/R

В то время как основной размер турбины является критерием расхода газа через турбину, отношение A/R даёт инструмент точного вы-

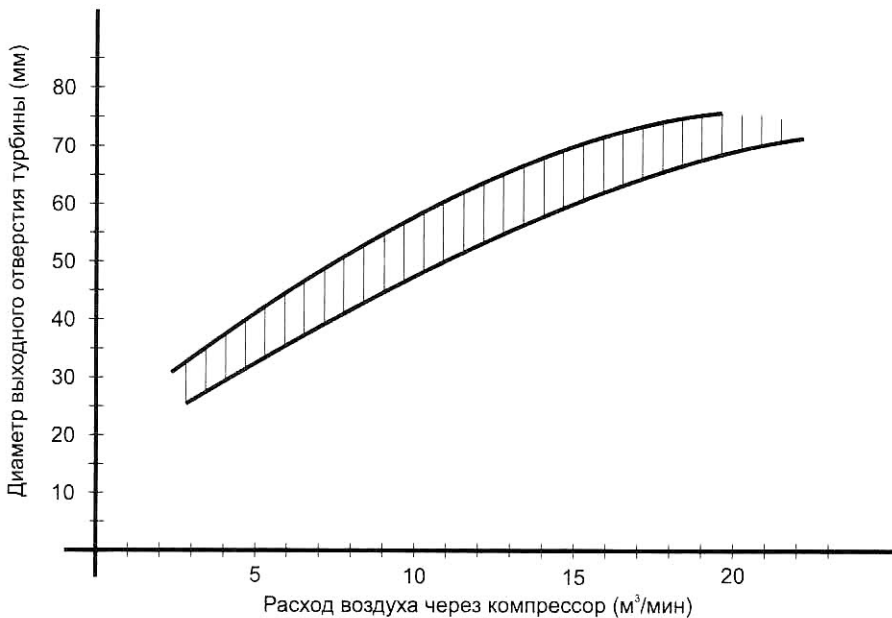


Рис. 3-10. Приблизительный диаметр выходного отверстия турбины, требуемый для привода компрессора при заданном расходе воздуха

бора из диапазона основных размеров. Чтобы легко понять идею отношения  $A/R$ , представьте кожух турбины в виде конуса, обернутого вокруг вала в виде спирали. Распрямите этот конус и отрежьте небольшой кусок на некотором расстоянии от конца. Отверстие в конце конуса – выходное сечение кожуха. Площадь этого отверстия это и есть «А» в отношении  $A/R$ . Размер отверстия существенен, поскольку он определяет скорость, с которой выходят отработанные газы из улитки турбины и попадают на ее лопатки. При любом заданном расходе газов для увеличения скорости их истечения требуется уменьшение площади выходного отверстия. Эта скорость имеет существенное значение для управления частотой вращения турбины. Необходимо иметь в виду, что площадь выхода влияет на побочный эффект обратного давления отработанных газов и, таким образом, оказывает влияние на процессы, протекающие в камере сгорания двигателя.

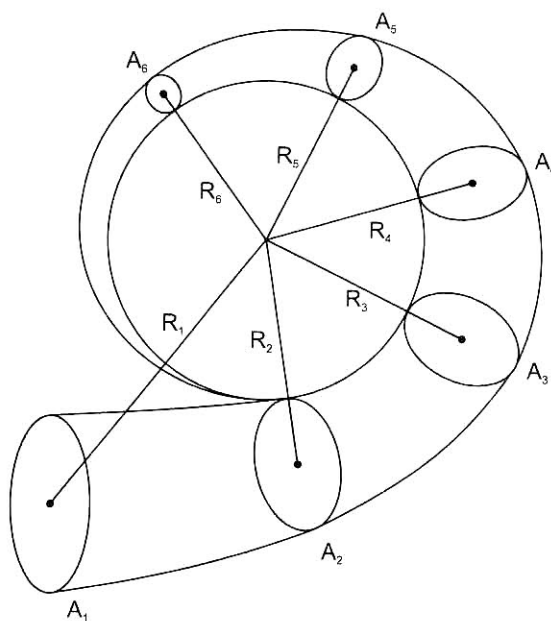
«R» в отношении  $A/R$  - расстояние от центра площади сечения в конусе до оси вращения вала турбины. Все «А», разделенные на соответствующие им «R», дадут одинаковый результат:

$$\frac{A_1}{R_1} = \frac{A_2}{R_2} = \frac{A_3}{R_3} = \frac{A_4}{R_4} = \frac{A_5}{R_5}$$

Или

$$\frac{Area}{Radius} = constant$$

Рис. 3-11. Определение отношения  $A/R$



«R» тоже оказывает сильное влияние на управление скоростью турбины. Представьте, что кончики лопаток турбины движутся с той же скоростью, что и газ, когда он попадает на лопатки. Отсюда легко понять, что чем меньше «R», тем выше частота вращения турбины.

Следует заметить, что увеличение «R» дает прирост момента на валу турбины для привода рабочего колеса компрессора, поскольку та

же самая сила (поток выхлопных газов) прикладывается на большем плече рычага ( $R$ ). Это позволяет приводить большее рабочее колесо компрессора, если этого требуют условия применения. Тем не менее, чаще всего при выборе турбины варьируют параметр « $A$ », в то время как радиус остается постоянным. Упрощенный подход к выбору отношения  $A/R$  показан на рис. 3-13.

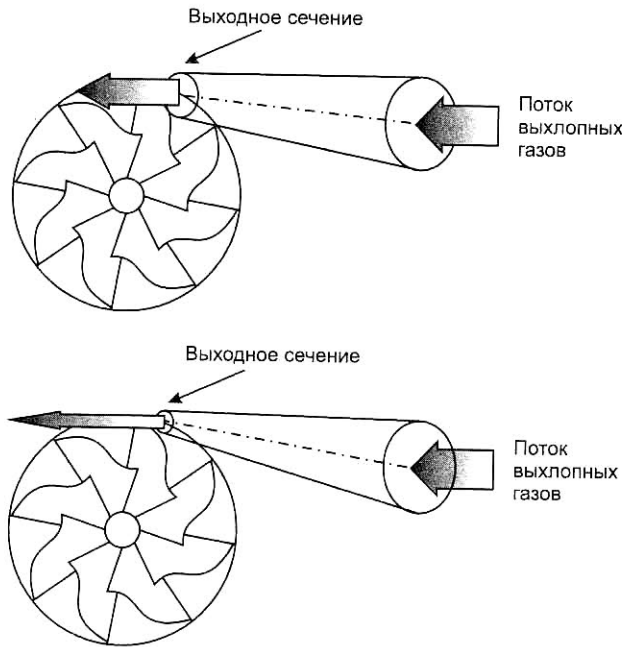


Рис. 3-12. Увеличение скорости вращения турбины, которая зависит от отношения  $A/R$ , почти всегда достигается изменением площади выходного сечения кожуха турбины при остающемся неизменном радиусе.

Выбор, который кажется логичной отправной точкой для отношения  $A/R$  - это одно, а фактически полученный правильный результат - это совсем другое. Обычно неизбежны пробы и ошибки. Разумный

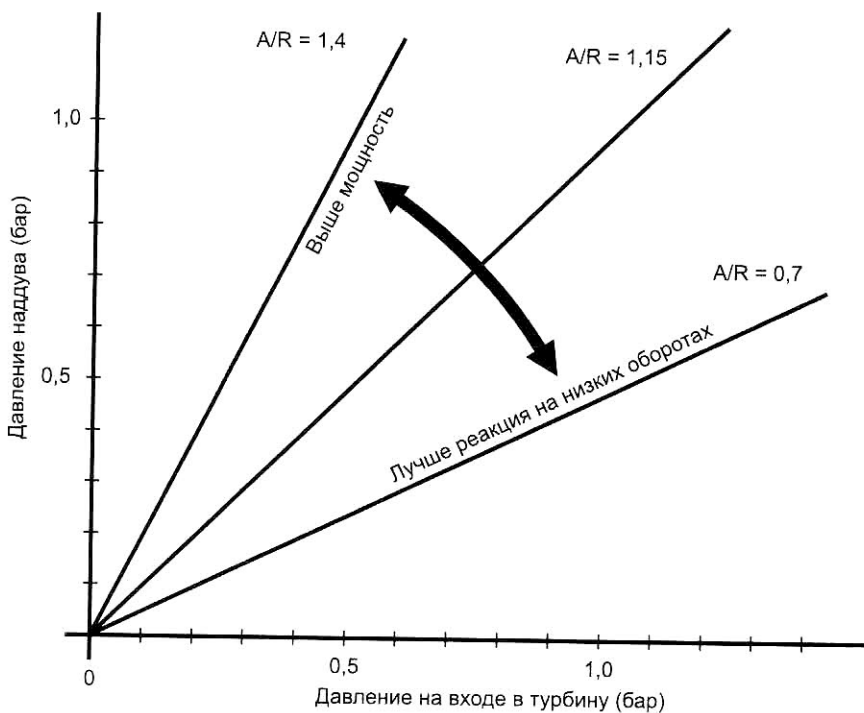


Рис. 3-13. Эффект изменения отношения  $A/R$ , все прочие параметры неизменны.

выбор может быть обоснован количественным образом или, в некоторой степени, качественной характеристикой адекватности реакции турбосистемы. Количественная оценка требует измерения давления в выпускном коллекторе или на входе турбины и сравнения его с давлением наддува.

Результатом неправильного выбора отношения  $A/R$  может стать увеличение инерционности наддува, если отношение слишком велико. Отношение  $A/R$  может быть столь большое, что не позволит турбонагнетателю развить обороты, достаточные для достижения желаемого давления наддува. Если отношение, напротив, чрезмерно мало, реакция турбонагнетателя может быть столь быстра, что будет казаться нервной и трудной для управления. Результат проявится и в виде отсутствия мощности в верхней трети диапазона оборотов двигателя. Это будет похоже на атмосферный двигатель с небольшим карбюратором, у которого закрыта воздушная заслонка.

### Разделенный выхлопной коллектор

Разделенный выхлопной коллектор позволяет импульсам выхлопных газов быть сгруппированными (или отделенными) по цилиндрам на пути к турбине. Ценная идея такого технического приёма состоит в том, чтобы донести энергию каждого импульса выхлопа к турбине нетронутой и не взаимодействующей с энергией других импульсов. Это может давать турбине немного больший толчок, который заставит ее вращаться. Если рассматривать случай абсолютного разделения импульсов и энергии, подводящихся по выхлопным каналам от восьмцилиндрового двигателя, то турбина получит большее количество энергии, чем это необходимо почти в любой ситуации.

Таким образом, разделенный выхлопной коллектор не будет давать значительного улучшения на V8 с одним турбонагнетателем. Для сравнения, четырехцилиндровый двигатель, в котором один рабочий ход происходит каждые  $180^\circ$  вращения коленчатого вала, нуждается во всей энергии, которую он может получить от каждого выхлопного им-

*Рис. 3-14. Кожух турбины с разделенным входом теоретически дает небольшое преимущество в характеристиках, обеспечивая подачу импульсов выхлопа в плотной связке к турбине. Этот эффект более заметен в случае двигателей с меньшим числом цилиндров, имеющих таким образом меньшее количество импульсов за каждый оборот двигателя.*





пульса. Сохранение этих импульсов изолированными и не подверженными интерференции позволит получить некоторые улучшения.

### Две турбины или одна?

Существуют несколько причин для ложного представления о целесообразности использования двух турбин там, где могла бы работать одна. Вероятно, наиболее популярное мифическое преимущество двух турбин взамен одной связано со снижением инерционности. Это заблуждение вообще трудно оправдать. Разделение пополам энергии выхлопа, подаваемой в каждую из двух турбин пропорционально квадрату инерции и кубу расхода газов, необязательно способствует уменьшению инерционности. Несколько турбин подразумевают большее количество мощности, которая, в том числе, является функцией от эффективности турбоагнетателя. При прочих равных условиях, большой турбоагнетатель более эффективен, чем малый.

Для использования двух турбин должны существовать серьезные основания. В частности, такой вариант может быть актуальным в случае V-образных или горизонтальных оппозитных двигателей. Конструкция выпускного коллектора – один из ключей к получению большой мощности, и компоновка с двумя турбоагнетателями, вообще говоря, может сделать конструкцию более совершенной. Потери тепла в окружающую среду из перекрестной трубы в V-образных двигателях может быть значительна. Помните, что это та самая теплота, которая приводит в действие турбину.

Компоновка с двумя турбоагнетателями обычно требует двух вестгейтов. Другая, не менее важная задача – синхронизация этих двух вестгейтов, может быть достигнуто намного лучшее управление скоростью турбины при низких давлениях наддува. Стабильность давления наддува при высоких расходах газов также улучшена. Если используются внешние вестгейты, в отличие от интегрированных, фактическое проходное сечение для отработанных газов может быть увеличено, установив отдельные выхлопные трубы для вестгейтов.

Большая площадь сечения выхлопа для турбины – это всегда усовершенствование системы. Выхлопные трубы от двух турбин будут фактически всегда давать большее увеличение расхода. Например, две трубы диаметром 50 мм обеспечивают существенно большее проходное сечение, чем одна труба диаметром 75 мм.

Еще одна причина превосходства двух турбин при известных условиях то, что теплота разделяется между двумя агрегатами, позволяя каждому, работать с более низким подводом тепла. Теплота, поглощенная материалом турбоагнетателя пропорциональна температуре газов и их массовому расходу. Температура останется тот же самой, но массовый расход газа будет уменьшен вдвое. Таким образом рабочую температуру турбоагнетателя можно понизить, а его предполагаемый срок службы несколько увеличить.

## Полезные детали конструкции

### **Корпус подшипника турбоагнетателя с жидкостным охлаждением.**

Подшипник с жидкостным охлаждением – разновидность конструкции, которая может увеличить срок эксплуатации турбоагнетателя в среднем в два раза. Наличие потока охлаждающей жидкости существенно снижает нагрев смазочных материалов при их прохождении через подшипники. Пониженные температуры предохраняют масло от превращения в то, что называют маслом марки X в рекламе Mobil 1. Твердые отложения, накапливающиеся внутри турбоагнетателя, блокирующие, в конечном счете, поток масла и убивающие турбоагнетатель, являются страшной болезнью, названной "коксоующиеся подшипники" (См. главу "Смазка турбоагнетателя") Жидкостно охлаждаемый подшипник был создан, потому что слишком многие владельцы автомобилей не удосуживались менять масло по графику, продиктованному наличием турбоагнетателя. Как ни странно, присутствие подшипника с жидкостным охлаждением не предполагает серьезное увеличение интервалов замены масла. Следуйте наилучшей возможной комбинации: и подшипники с жидкостным охлаждением и сокращенные интервалы замены масла.

### **Поворотная секция турбоагнетателя.**

Возможность поворота одной секции турбоагнетателя относительно другой является полезной особенностью конструкции. Хотя интегрированный вестгейт предлагает ряд удобств при проектировании неспортивных систем турбонаддува, он обычно не позволяет трем секциям турбоагнетателя (турбина, подшипник и компрессор) поворачиваться на 360° относительно друг друга. Ограничение поворота секций может серьезно препятствовать свободе компоновки системы турбонаддува в моторном отсеке.

### **Соединения турбоагнетателя.**

Фланцы кожуха турбины, которые соединяют турбоагнетатель с выпускным коллектором и выхлопной трубой – два наиболее вероятных места неисправностей в системе. Тепловые деформации, конструкция крепежа и прокладок – всё это нельзя сбрасывать со счетов. Вообще говоря, фланцы с большим количеством крепёжных элементов и более толстыми секциями перенесут нагрев с меньшим количеством проблем. Некоторые турбины используют для кожуха турбины жаропрочные сплавы с повышенным содержанием никеля. Такие материалы дают заслуживающее внимания увеличение стойкости к высокой температуре и вследствие этого увеличивают долговечность кожуха выхлопа.

Выход компрессора почти всегда имеет соединение при помощи гибкого патрубка. Гибкость в этом соединении обычно необходима для компенсации возникающих тепловых деформаций турбоагнетателя. Системы с высоким уровнем наддува могут потребовать установки соединительного стержня на выходном патрубке для обеспечения прочности воздуховода, подверженного значительным растягивающим усилиям.

На входе компрессора также применяются соединения с использованием гибких патрубков. Их применение допускается в тех системах,

где перед турбонагнетателем к воздуху не примешивается топливо. При расположении нагнетателя после карбюратора (в системах с протяжкой воздуха через карбюратор), использования любых резиновых деталей между карбюратором и турбонагнетателем нужно избежать, поскольку топливо будет разрушающе воздействовать на резиновый патрубок. Патрубок большого диаметром позволяет использовать больший диаметр входа в нагнетатель. Большой диаметр на входе обеспечивает низкие потери, а это жизненно необходимо для компрессора. Будьте уверены, что все патрубки и соединения достаточно жестки, чтобы избежать деформации от небольшого разрежения, созданного воздушным фильтром и расходомерами воздуха, если они имеются.

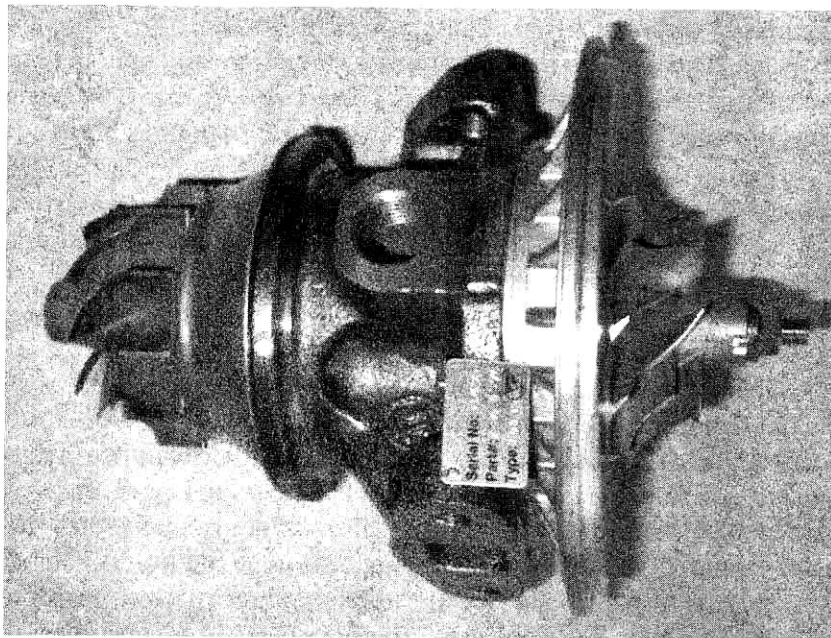


Рис. 3-15. Узел подшипника турбонагнетателя с рубашкой водяного охлаждения обеспечивает повышенный ресурс турбонагнетателя и более продолжительные интервалы замены масла.

### Итоги главы

*Насколько важен правильный выбор размера турбонагнетателя?*

Правильно подобранный турбонагнетатель обеспечит умеренные обороты порога наддува, некритичное сужение системы, низкую температуру на впуске, и невысокое давление в выпускном коллекторе. Человек, умеющий читать и пользоваться телефоном, вполне может выбрать правильный размер турбонагнетателя. Никакой фундаментальной науки, никакого волшебства, только немного размышлений и аргументированных оценок. Например, Вы хотите самый низкий порог наддува? Хорошо, это возможно, если Вы проводите все время в пробках. Это - единственный случай, когда важен низкий порог наддува. Будьте уверены - более низкий порог наддува - меньше лошадиных сил. С другой стороны, если вашей целью является максимальная мощность, турбонагнетатель требуемого размера, скорее всего, не будет производить никакого давления наддува до верхней половины диапазона оборотов.

Это неприемлемо с точки зрения гибких требований, предъявляемых к уличному турбонагнетателю. Необходим компромисс. Не скатывайтесь до низкого уровня журналистов, утверждающих, что ка-

чество системы турбонаддува характеризуется тем, сколь малые обороты нужны ей от двигателя, чтобы она создала давление наддува.

*Модель турбоагнетателя влияет на его характеристики?*

Нет. Фактически все турбоагнетатели долговечны, эффективны и отвечают предъявляемым требованиям. Характеристика турбоагнетателя никоим образом не связана с моделью турбоагнетателя, если эта модель не является единственным турбоагнетателем требуемого размера, доступным для применения. Некоторые конструкции имеют интегрированные вестгейты. Такое исполнение вестгейта требует немного большего количества работы, чтобы сделать его столь же эффективным, как внешний вестгейт. В этом случае модель турбоагнетателя влияет на его характеристику, но только из-за интегрированного вестгейта.

*Сдвоенные турбины дают какое-либо преимущество?*

Иногда. Двигатель объемом более 3000 см<sup>3</sup> может получить пользу от применения двух турбин. Две небольшие турбины могут слегка снизить инерционность турбосистемы, в противоположность одному большому турбоагнетателю, и обеспечивают лучший баланс между характеристиками наддува на низких и максимальных оборотах. При объеме более чем 5000 см<sup>3</sup>, две турбины действительно станут необходимостью. Не подумайте, что парные турбины по существу более мощны, просто при этом накладывается друг на друга слишком много прочих факторов.

*Что означает эффективность (КПД) компрессора, и почему она важна?*

Эффективность (КПД) компрессора не означает ничего иного, как реальную температуру воздуха, выходящего из турбоагнетателя при наддуве, относительно расчетного значения, основанного на термодинамических уравнениях. Вычислите одно значение, измерьте другое, разделите расчетное значение на измеренное, и Вы получите эффективность компрессора. Соответствие эффективности компрессора конкретному двигателю важно в том, чтобы максимум эффективности компрессора находился где-нибудь около пика мощности или максимальных оборотов двигателя, чтобы компрессор давал самую низкую возможную тепловую нагрузку. "Высокоэффективный" является выражением дилетантов, изобретенным случайными авторами для описания турбоагнетателей, обеспечивающих давление наддува на низких оборотах. Если что-то может быть совершенно неправильным, то это – пример того. Давление наддува на низких оборотах означает небольшой компрессор, который является неэффективным на высоких оборотах. Таким образом, он производит высокие температуры и является как раз противоположностью "высокоэффективному"

*Давление в выпускном коллекторе влияет на характеристики?*

Да. Давление в выпускном коллекторе – критерий того, насколько хорошо турбоагрегат подобран для конкретного двигателя. Давление в выпускном коллекторе не должно превышать давление наддува более чем в два с половиной раза. Это соблазняет изготовителей турбоагнетателя использовать слишком малые турбины только для того, чтобы выдавать давление наддува на низких оборотах. Низкий порог наддува может быть и полезным, но переусердствовать при этом означает получить серьезную (20 % или около того) потерю мощности на оборотах выше средних. Необходимый баланс между наддувом на низких оборотах и наддувом на максимальных оборотах – задача проектирования, кото-

рую должен решать каждый изготовитель турбокита. Вообще говоря, меньшее давление в выпускном коллекторе означает большее количество лошадиных сил. Другими словами, большие турбины бегают быстрее.



---

## Смазка турбонагнетателя

Задача смазки вала, вращающегося внутри втулки подшипника скольжения, была решена много лет назад. Никаких принципиально новых знаний не потребовалось с появлением турбонагнетателя, даже с учётом того, что при этом появилась пара нюансов, а конкретно - огромная температура в турбине и тепловой удар по маслу при передаче этого тепла в корпус подшипника. Высокая температура ухудшает свойства масла и быстро делает его непригодным для использования. Методы решения этих проблем с давних времён были известны и понятны, но осуществлены были лишь недавно. Предположительно, причины такой задержки - экономические и маркетинговые. Экономическая причина этого кроется в нежелании производителей увеличить цену на величину, необходимую для установки жидкостного охлаждения корпуса подшипника. Маркетинговые причины связаны с нежеланием отделов продаж сообщать потребителю, что он должен менять моторное масло с большей частотой. При том, что большинство потребителей не стало бы неправильно обслуживать дорогостоящую технику. Налицо очередной грустный пример того, как приоритетный упор на рост продаж и требования бухгалтерского учета тормозят нормальное техническое развитие. Хотелось бы закончить рассказ на мажорной ноте, поскольку фактически все серийные автомобили с турбонагнетателем сегодня имеют подшипники с водяным охлаждением и рекомендацию частой замены масла. Но если бы таким состояние дел было в начале серийного производства турбин, в нашем языке отсутствовала бы фраза "коксоующиеся подшипники турбонагнетателя". К сожалению, историю не изменить...

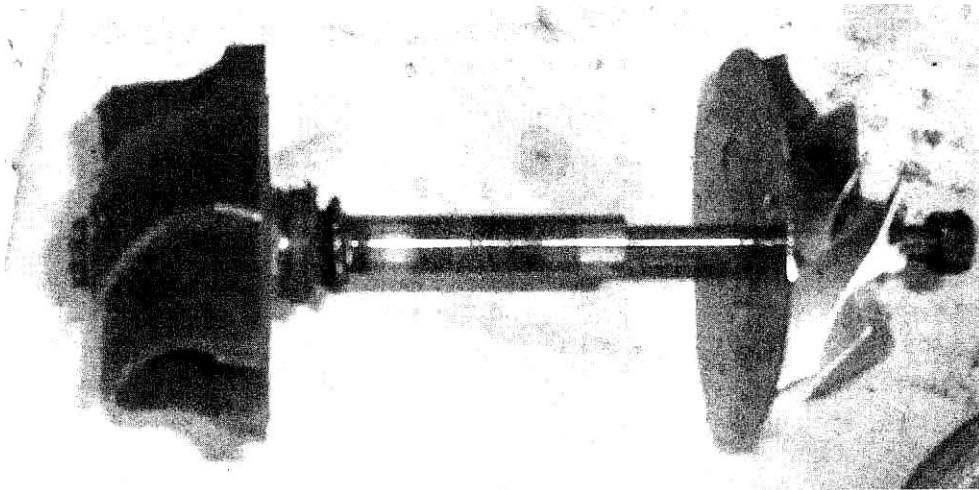
### Каковы причины коксования подшипников?

В нашем случае кокс - это ничто иное, как обугленные остатки масла, накапливающиеся в корпусе подшипника турбонагнетателя до такой степени, что поток масла к подшипнику, в конечном счете, оказывается перекрытым. Серьезным образом сократившийся поток масла

убьет турбонагнетатель в кратчайшие сроки. Существуют четыре причины коксования масла:

- Масло с недостаточной высокотемпературной стабильностью
- Масло с расширенным загустителями диапазоном вязкости
- Увеличенные интервалы замены масла
- Чрезмерное тепловыделение в корпусе подшипника

Как найти компромисс в этих вопросах и обеспечить подачи чистого, охлажденного масла – предмет обсуждения этой главы.



*Рис 4-1. Корпус подшипника и вал с тяжелыми отложениями закоксованного масла могут стать причиной отказа. Коксующийся подшипник - результат использования масла с недостаточной высокотемпературной стабильностью и/или замены масла с неудовлетворительной периодичностью.*

***Если в подшипниках Вашего турбонагнетателя образуются твердые отложения, проверьте Ваше внимание к вопросам обслуживания двигателя перед тем, как проklinать свой турбонагнетатель.***

### Выбор смазочных материалов

Выбор типа, сорта и марки моторного масла должен быть сделан с определённой предусмотрительностью и даже, возможно, после проведения в некотором роде исследования. Пожалуйста, отбросьте все старые семейные пристрастия к старому проверенному минеральному маслу. Семейные традиции может и не сильно изменились за эти годы, но технологии производства моторных масел сделали большой шаг вперед.

Вот что Вам необходимо: во-первых, получите представление о том, что же смазочные материалы делают для вашего двигателя, и какие специальные требования в Вашем случае накладываются на моторное масло. Эти данные сообщат Вам, какое масло будет наилучшим образом отвечать вашим потребностям. Во-вторых, рассмотрите климатические и рабочие условия, в которых должно работать моторное масло. Эта информация сообщит Вам, какая требуется вязкость, и какой уровень качества машинного масла наилучшим образом подходит Вашему двигателю. По возможности лучше избегать масла с расширенным при помощи присадок-загустителей диапазоном вязкости, поскольку эти присадки являются также причиной коксования масла. Таким образом, масло с вязкостью 20W-50 более подходит для турбонагнетателя, чем 10W-50 при одинаковой основе. Полезно, если имеются сведения о мою-

щих и антиокислительных свойствах масла, потому что хорошее по этим двум параметрам масло будет предпочтительным для турбоагнетателя.

Теперь Вы знаете тип и сорт машинного масла, которое является Вашим лучшим выбором. Остается еще один шаг: выбор Вами марки масла. На этом шаге выбор определяется наличием в продаже, ценой и тем, скажет ли Ваш дилер Вам: «Это правильный выбор масла для вашего двигателя». Можно быть относительно уверенным в том, что масло, по всем характеристикам предназначенное для использования в турбодвигателе, да еще и рекламируемое производителем двигателя, будет хорошим смазочным материалом.

### Типы Смазочных материалов

Существуют два варианта: масло на синтетической либо на минеральной основе.

Синтетические машинные масла – жидкости (не обязательно выработанные из нефти), в которых базовая основа машинного масла является намного более стойкой, чем в стандартных углеводородных маслах. Конечный продукт представляет собой очень плотную, устойчивую жидкость с однородным молекулярным строением, свойства которой великолепно предсказуемы. Синтетические масла достойно демонстрируют свои качества по снижению потерь на трение, увеличению температурной стабильности, и повышенной основной прочности молекулярного строения. Минеральные машинные масла менее дороги и более склонны к образованию твердых отложений.

### Корпус подшипника с жидкостным охлаждением

Корпус подшипника турбоагнетателя с жидкостной рубашкой вокруг подшипника фактически устранил проблему образования масляных отложений. Охлаждающая способность при такой конструкции такова, что масло редко достигает температуры, при которой оно начинает коксоваться. Конечно, все равно масло, применяемое при высокой температуре, рано или поздно теряет свои свойства, так что необходимость в периодической замене масла остается. Интервал замены масла, при этом, становится немного меньшим, нежели у атмосферных двигателей.

### Расход масла и требования к давлению в масляной системе

Турбоагнетатель удивительным образом выживает при весьма малых давлении и потоке масла. Широко известен факт, что все выпускаемые сегодня двигатели имеют достаточно избыточную производительность маслонасоса, чтобы обеспечить дополнительно еще и смазку турбоагнетателя. Если Вы знаете, что какой-то двигатель был недоработан по части системы смазки в своём оригинальном виде, это является, разумеется, хорошим поводом для устранения такого недостатка. Однако сделайте это для пользы двигателя, а не вследствие дополнительной нагрузки на систему смазки из-за турбоагнетателя. Соблюдайте основные нижние пределы давления и расхода масла, предъявляемые изготовителем турбоагнетателя, и Вы не просчитаетесь.

Слишком высокое давление в системе смазки двигателя может создавать проблемы с турбинами. Возможно продавливание масла через совершенно исправные масляные уплотнения, если давление масла в системе превышает  $4,5 \text{ кг/см}^2$ . Проблема давления масла, продавливающего уплотнения, проявляется в частом (а то и в постоянном) дымлении двигателя, поэтому может потребоваться установка ограничителя или обводного масляного канала, чтобы понизить давление масла в турбоагнетателе.

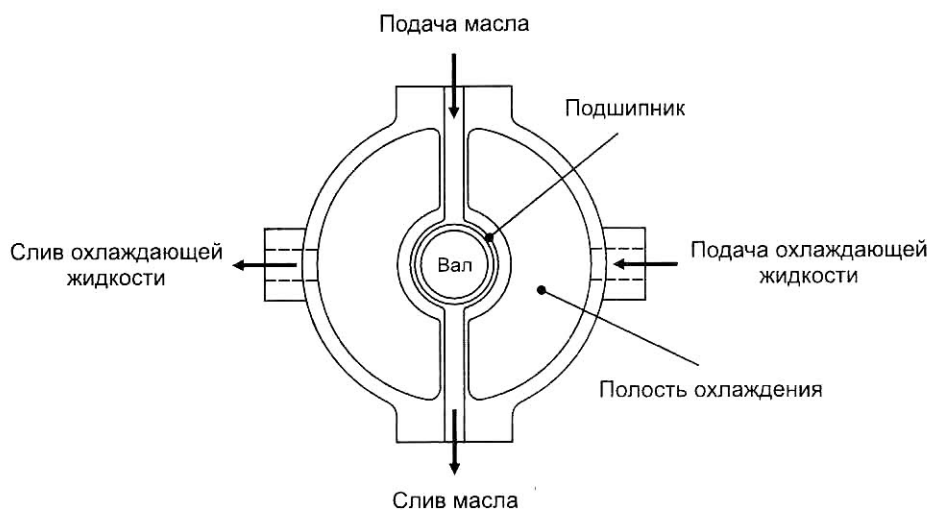


Рис. 4-2. Рубашка жидкостного охлаждения, встроенная в корпус подшипника турбоагнетателя, отводит большую часть тепла, которое передаётся от раскаленных газов к корпусу подшипника. Смазочные материалы в достаточной степени защищены от воздействия высокой температуры, чтобы не образовывать нагара.

|                       | Мин. давление (бар) | Мин. расход (л/мин) |
|-----------------------|---------------------|---------------------|
| Холостой ход, горячий | 0,3                 | 0,2                 |
| Максимальная нагрузка | 1,7                 | 2                   |

Табл. 4-1. Подходящие параметры системы смазки практически для всех турбин

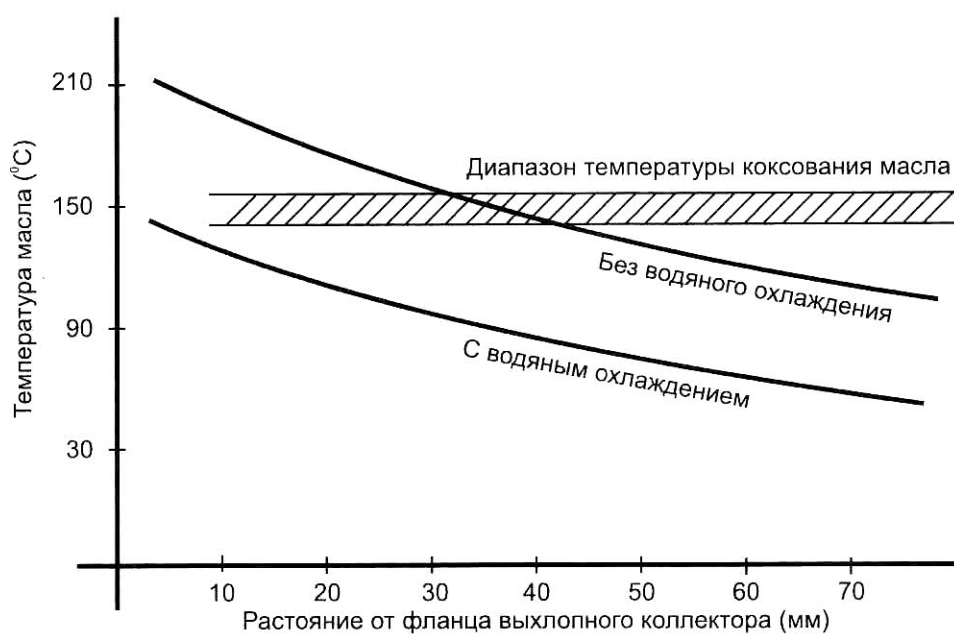


Рис. 4-3. Сравнение температуры подшипников с жидкостным охлаждением и без такового иллюстрирует величину температуры и ее распределение в подшипниковом узле турбоагнетателя. Корпус подшипника без жидкостного охлаждения может быть причиной постоянного ухудшения свойств масла. При интервалах между заменами масла 5000 км старое масло с ухудшившимися свойствами будет вовремя удалено и не приведет к коксованию.

## Масляные радиаторы

Добавление масляного радиатора к форсированному двигателю часто рассматривается как способ увеличения ресурса двигателя. Хотя обычно это так и есть, не будьте столь поспешны, чтобы бежать сломя голову и покупать огромный масляный радиатор вместо того, чтобы проанализировать и изучить реальные требования вашего двигателя.

Рис. 4-4. Снижение давления масла в турбоагнетателе ограничителем. Такой вариант требует, чтобы давление масла, подаваемого к подшипникам турбоагнетателя, было измерено и точно известно.

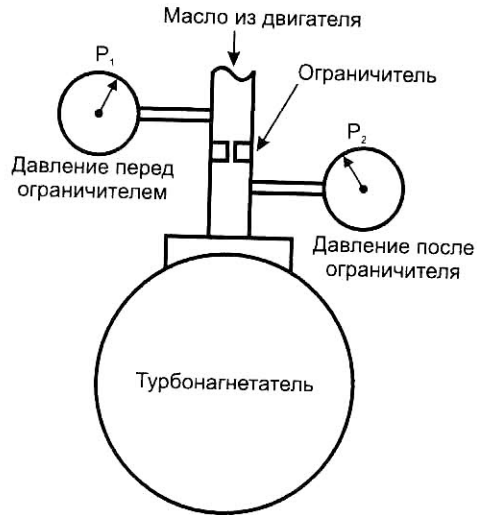
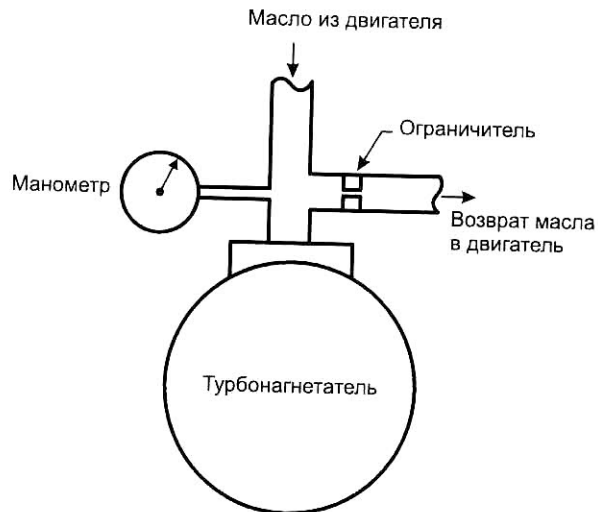


Рис. 4-5. Снижение давления масла в турбоагнетателе при помощи байпасного канала. Это более подходящий вариант, чем ограничитель в питающей масляной линии, но давление в подшипниках должно быть точно известно.



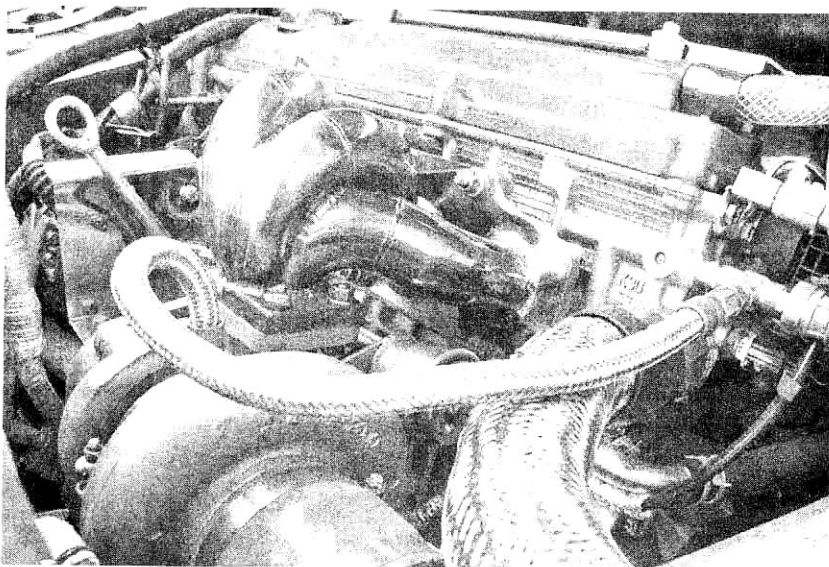
Масло должно работать в определенном температурном диапазоне, при котором обеспечиваются требования к вязкости с точки зрения защиты двигателя от трения, не происходит перегрева масла и обеспечивается нормальная прокачиваемость масла по системе. Эти требования легко выполнимы при грамотном выборе типа масла с подходящей вязкостью, работающем в правильном температурном диапазоне.

Минеральные масла, в отличие от синтетических, не обладают требуемой термостабильностью. Для уличных двигателей и к синтетическим и к минеральным маслам предъявляются заведомо не слишком строгие температурные требования, но синтетические масла могут работать при температурах на  $20^{\circ}\text{C}$  выше, вплоть до  $130^{\circ}\text{C}$  против  $110^{\circ}\text{C}$



для минеральных. Поэтому Вам может потребоваться масляный радиатор, если Вы используете минеральные масла, и (в большинстве случаев) нет, если Вы используете синтетические.

Необходимо понимать, что температура масла ниже нижних температурных допусков будет снижать долговечность двигателя так же, как превышение верхних допусков. Установка указателя температуры масла позволит Вам узнать много интересного. Сделайте это перед монтажом дорогого масляного радиатора. Бывают случаи, когда температуры и масла и охлаждающей жидкости достаточно высокие, но ни одна из них не выходит за допустимые пределы. Этот случай идеален для масляного радиатора, который будет отводить достаточно тепла из системы смазки, чтобы понизить и температуру охлаждающей жидкости, в случае хорошего радиатора это снижение может составить 10<sup>0</sup>С. Система охлаждения масла с термостатом – хорошее решение: масло должно достигнуть некоторой предварительно устанавливаемой температуры прежде, чем термостат отправит его в масляный радиатор. Имейте в виду, что в отличие от систем жидкостного охлаждения, масляная система с термостатом нужна не для того, чтобы быстро достигнуть рабочей температуры масла, а для того чтобы направить в радиатор уже нагретое масло .



*Рис. 4-6 Соединения и магистрали масляной системы должны выдерживать высокие температуры и давления, быть стойкими к агрессивной среде, и вибрациям. Этот трубопровод подачи масла из армированного шланга обеспечивает все эти условия.*

### Масляные фильтры

Турбонагнетатель не добавляет никаких специальных требований к фильтрованию масла. Тем не менее, особо ревностные фанаты могут пожелать заботиться о своем форсированном двигателе ещё лучше, чем это обеспечивает штатный масляный фильтр. Для них известными мировыми производителями представлен широкий ассортимент соответствующих изделий.

### Подача и отвод масла от турбонагнетателя

Трубопроводы, которые подают масло к турбонагнетателю и отводят его обратно к двигателю – весьма вероятное слабое звено в системе турбонаддува. В этом месте вполне может сломаться копеечная деталь, из-за которой накроется турбонагнетатель за семь сотен долларов, или,

что еще хуже, вкладыши и коленчатый вал двигателя. Делайте работу досконально, не сомневайтесь ни минуты, если появится необходимость дополнительных денежных трат для постройки надежной системы смазки турбоагнетателя. Ниже мы рассмотрим минимальные требования к маслоподающим трубопроводам.

Маслопроводы, идущие к турбоагнетателю, должны соответствовать требованиям по давлению и температуре (иметь верхний предел допуска вдвое больший, чем максимально возможная температура масла) и быть маслостойкими. Металлическая оплетка, предохраняющая трубопроводы, крайне желательна с точки зрения стойкости к истиранию, изнашиванию и виброустойчивости. При использовании металлических трубок хотелось бы предупредить о недопустимости касания трубопроводом чего-либо, относительно чего трубопровод сохраняет подвижность, поскольку при этом будет повреждаться эта деталь. Например, трубопровод из нержавеющей стали, трущийся по алюминиевой крышке клапанного механизма, будет пропиливать паз в этой крышке. Необходимо закреплять маслопровод в нескольких местах, чтобы устранить относительные перемещения и увеличить надежность концевых соединений. Крепление маслопроводов возле концевых стыков устранит возможность усталостного разрушения этих ответственных узлов.

### Система слива масла

Трубопровод слива масла должен быть более прямым, нежели нагнетающий трубопровод. Даже положение турбоагнетателя относительно двигателя должно быть выбрано в соответствии с требованиями расположения линии слива масла. Турбоагнетатель следует располагать достаточно высоко, чтобы обеспечивать слив масла в поддон двигателя. Суть проблемы в том, что масляные уплотнения турбоагнетателя не будут работать должным образом, если они полностью купаются в масле, а ведь оно сливается из корпуса подшипника исключительно под действием силы тяжести. Масло, прошедшее через подшипники турбоагнетателя, должно вытекать из них свободно, быстро и без какого либо существенного ограничения.

При проектировании системы слива масла должны быть соблюдены несколько основных принципов:

**Угол наклона выхода из турбоагнетателя.** Почти все турбоагнетатели позволяют вращать корпус подшипника на  $360^\circ$  относительно выхлопного и впускного патрубков. Это даёт возможность расположить отверстие слива масла вертикально вниз, что является идеальным положением, но при необходимости допускается отклонение до  $30^\circ$ .

**Размер сливного шланга.** По возможности должны применяться трубопроводы с внутренним диаметром не менее 12 мм. Бывает, что это условие невыполнимо, в таких случаях приходится искать компромиссы, и это допустимо, когда благоприятны другие факторы. Например, сужение до 6 мм на том конце трубопровода, через который масло сливается в поддон, может быть не критичным, но вряд ли это можно допускать на том конце трубопровода, который подсоединен к турбоагнетателю. Имейте в виду, что после того, как масло вышло из корпуса подшипника, давления уже нет, а поток масла низкого давления

требует намного большего проходного сечения для обеспечения требуемой пропускной способности трубопровода.

**Расположение сливного трубопровода.** В идеальном случае, шланг слива должен быть направлен вниз и плавно изгибаться на входе в поддон, без петель, сильных изгибов или подъемов. Расположение агрегатов на двигателе редко позволяет достигнуть этого.

Здесь необходимы тщательный подход и предусмотрительность. Прокладывайте шланг подальше от излучающего теплоту выхлопного коллектора. Будьте уверены, что он не будет поврежден дорожной грязью, или что он должным образом защищен от этого.

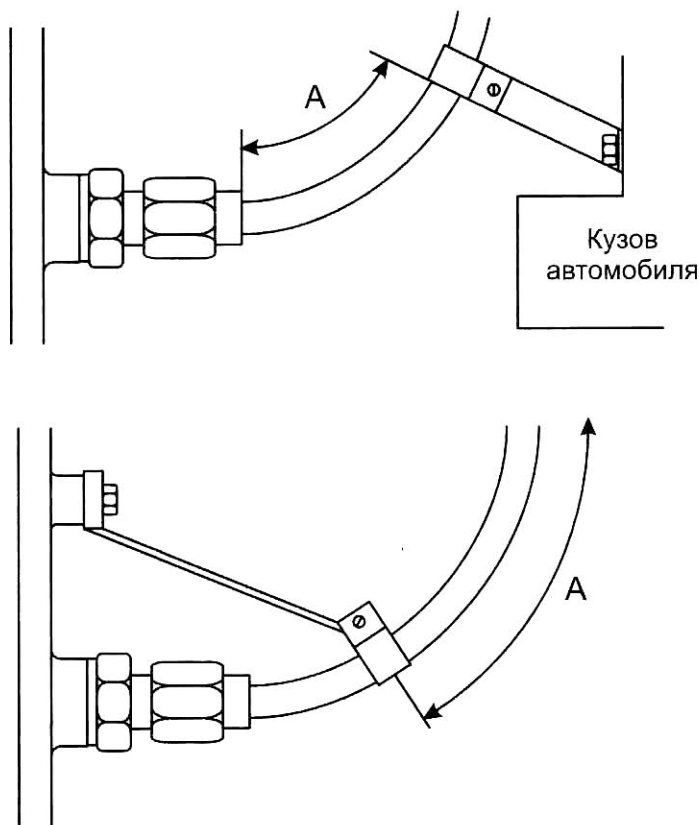


Рис. 4-7. Сверху: тяга, крепящая маслопровод к кузову вынуждает маслопровод и стыки нести нагрузки, вызванные перемещениями двигателя. Перемещение должно быть поглощено на небольшом расстоянии "А"; поэтому возможны чрезмерные нагрузки и повреждения. Снизу: при использовании тяги, закрепленной на двигателе, стыки не будут испытывать никакой изгибающей нагрузки. Все изгибы маслопровода происходят на длинной, гибкой части "А", это вызывает довольно слабые напряжения и позволяет избежать повреждений шланга.

### Специальные требования для низко установленных турбин

Порой ситуация диктует установку турбонагнетателя столь низко, что слив масла под действием силы тяжести назад в поддон находится под большим вопросом. Поскольку сила тяжести является первичным способом удаления масла из корпуса подшипника, под турбонагнетателем необходимо размещение поддона или небольшого резервуара специально для сбора масла, которое может потом быть возвращено в поддон двигателя при помощи насоса. Возможно, самое элегантное техническое решение в этих обстоятельствах – откачивающий насос, приводимый в действие давлением масла, которое подаётся к турбонагнетателю.

### Дополнения к масляной системе

На рынке имеется немало устройств, задачей которых является обеспечения подачи масла к подшипникам турбонагнетателя при остановленном двигателе.

Эти устройства пытаются решать три основных задачи, с точки зрения их проектировщиков:

- подача смазочного материала к турбонагнетателю до запуска, чтобы восполнить утечку масла через слив за то время, когда двигатель и турбонагнетатель не работали
- подача смазочного материала к турбонагнетателю после выключения двигателя и остановки его масляного насоса
- прокачивание достаточного количества масла через турбонагнетатель после выключения двигателя для обеспечения отвода тепла

Рис. 4-8 Положение отверстий для входа и выхода масла. Они должны всегда располагаться в пределах 30° от вертикали, чтобы обеспечить слив масла из корпуса подшипника в поддон под действием силы тяжести.

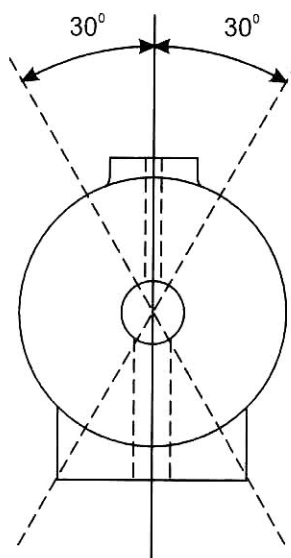
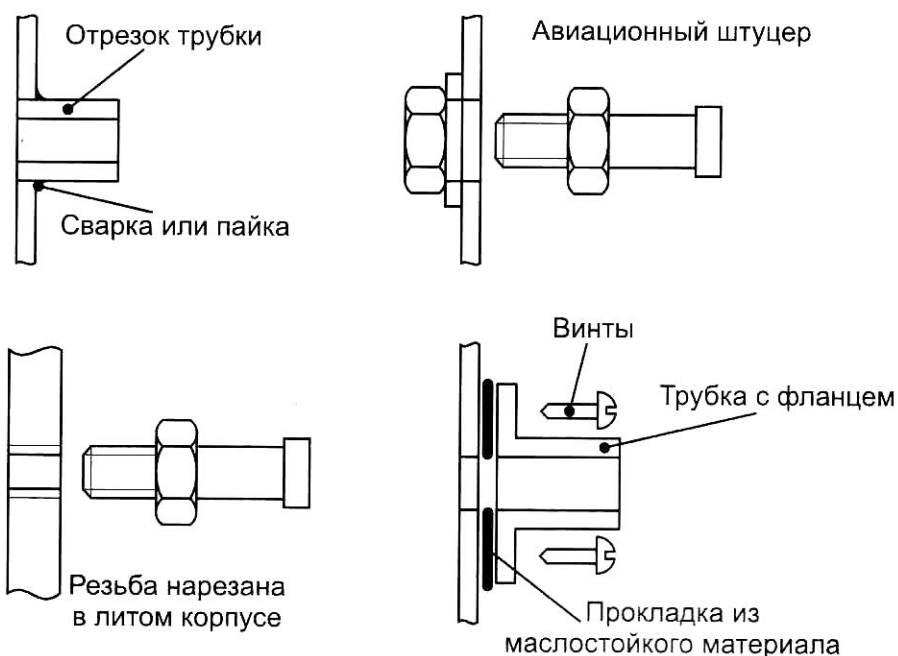


Рис. 4-9. Существуют разнообразные методы крепления трубопровода слива масла к поддону. Прочность и минимум деталей определяют качество соединения.



от корпуса подшипника и для снижения риска образования твердых отложений.

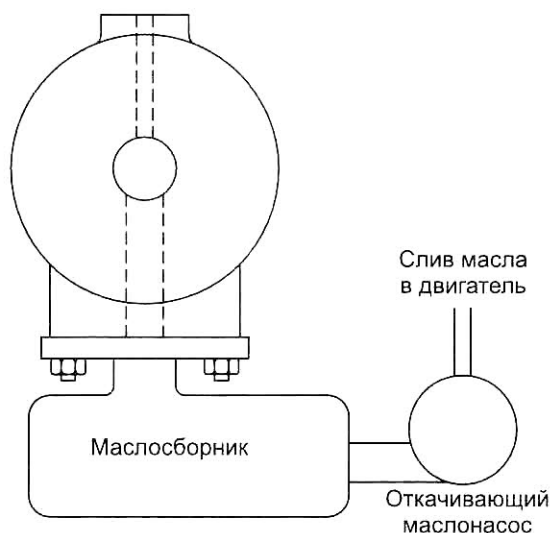
Хотя все эти намерения являются весьма благородными, в этой схеме имеется несколько несуразиц:

- Масло никогда не вытекает из подшипника турбоагнетателя полностью. Далее, турбоагнетатель не вступает в работу сразу после пуска двигателя, да и на холостом ходу он развивает лишь небольшую частоту вращения, сродни Вашему комнатному вентилятору.

- когда двигатель выключается, в сей же момент прекращается зажигание, прекращается поток горячих газов, требуемых для привода турбоагнетателя, и он останавливается. Вообще, турбоагнетатель остановится прежде, чем прекратится вращение двигателя, а невращающийся турбоагнетатель не нуждается в смазке.

- Перемещение тепла от турбоагнетателя: эта идея сама по себе неплоха. Но турбоагнетатель, который уже охлажден воздухом, охлажден маслом, и вероятно, имеет жидкостное охлаждение, планируется еще немного охладить несколькими литрами дополнительного масла, прокачиваемого через него. Это нерентабельно.

Решите для себя, чем именно дополнительные узлы масляной системы будут полезны для Вас и для Вашего автомобиля. Если эта польза удовлетворяет Вашим потребностям, покупайте их, и удачи Вам.



*Рис. 4-10. Масляный поддон необходим для низко-установленного турбоагнетателя, когда дренаж под действием силы тяжести невозможен. Электрические и механические насосы могут хорошо выполнять такую задачу. Нужно избегать насосов с излишней производительностью, поскольку это приведёт к большому риску возникновения кавитации.*

## Итоги главы

*Что это за болтовня об образовании твердых масляных отложений в подшипниках турбоагнетателя?*

Хотя есть мнение, что за массовое распространение историй о закоксованных подшипниках турбоагнетателя ответственны журналисты, наиболее вероятной причиной таких случаев является никогда не сменяемое масло. На практике, если владелец дает машине поработать на холостом ходу 30 секунд перед выключением, меняет масло каждые 3000 км и использует высококачественное масло, подобные неисправности системы смазки турбоагнетателя, скорее всего, никогда не случатся. Подшипник с жидкостным охлаждением даёт гарантию, что температура его корпуса никогда не достигнет критического для масла

значения. Пожалуйста, не поддавайтесь заблуждению о том, что различные присадки к маслу могут спасти подшипники турбонагнетателя. Рекламируемое качество этих изобретений основано на ошибочной информации. По нашему мнению, они ничего не стоят.



# Промежуточное охлаждение

Промежуточный охладитель (интеркулер) медленно, но уверенно признается как неотъемлемая составная часть системы турбонаддува. Его использование должно рассматриваться не просто как добавление льда к нашему лакомству. Правильный промежуточный охладитель означает большее количество этого лакомства.

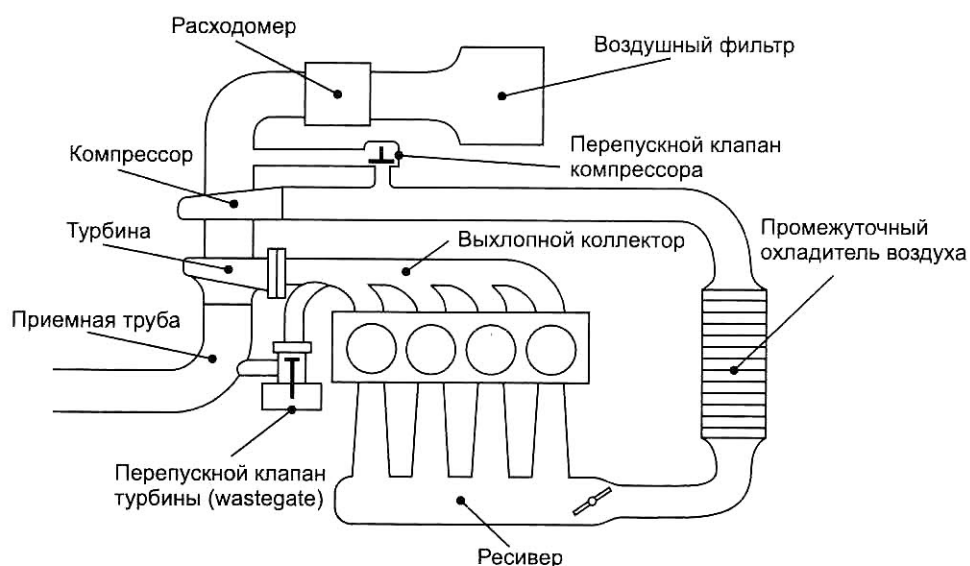


Рис. 5-1. Общая схема системы турбонаддува с промежуточным охлаждением.

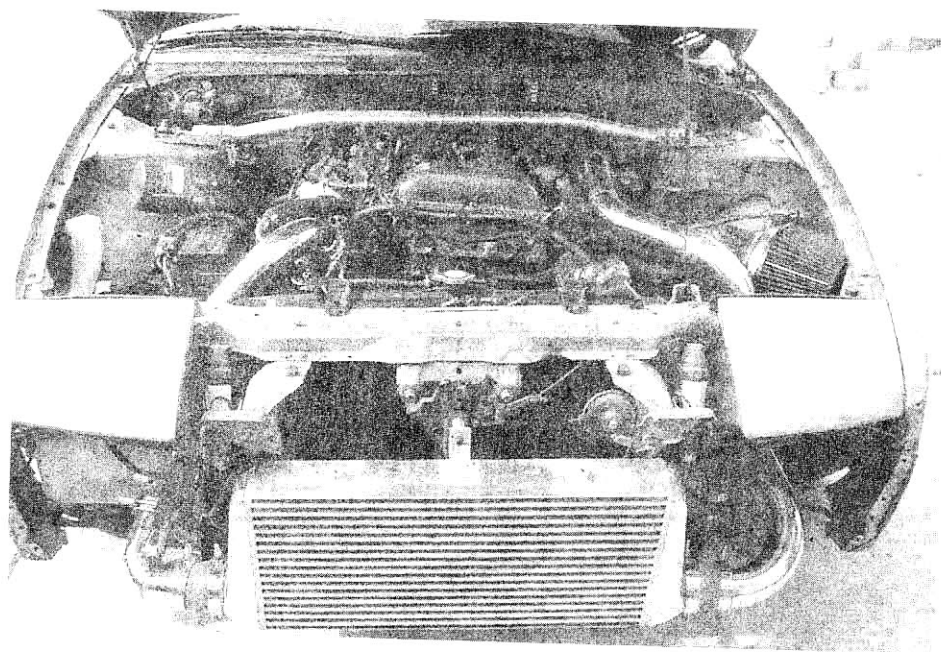
Промежуточный охладитель это радиатор или, используя более правильную терминологию, теплообменник, расположенный между турбонагнетателем и впускным коллектором. Основная его задача состоит в том, чтобы забрать ненужную теплоту из нагнетаемого воздуха, которую туда добавил турбонагнетатель в процессе сжатия. Очевидно, что качество промежуточного охладителя должно оцениваться его спо-

способностью по переносу этой теплоты. К сожалению, это только верхушка айсберга, поскольку простое по сути добавление промежуточного охладителя создает множество разнообразных проблем. Извлечение большей пользы от установки промежуточного охладителя при уменьшении проблем, которые он может принести – техническая задача, которая должна быть решена прежде, чем можно будет создавать систему турбонаддува с промежуточным охлаждением воздуха.

*Будет ошибкой думать, что "любой интеркулер лучше, чем отсутствие интеркулера".*

Отвод теплоты от нагнетаемого воздуха имеет два огромных достоинства. Во-первых, понижение температуры увеличивает плотность воздуха. Увеличение плотности пропорционально изменению температуры (измеренное по абсолютной шкале). Более плотный воздушный заряд производит больше энергии. Вторым, но не менее важным эффектом является потрясающий выигрыш в процессе сгорания, вызванный уменьшением вероятности возникновения детонации вследствие пониженных температур воздушного заряда. Эти два достоинства являются причиной того, что правильно выбранный промежуточный охладитель может увеличить мощность и/или запас прочности двигателя с турбонагнетателем. Чтобы уточнить, какие испытания проводятся при оценке системы промежуточного охлаждения, обратитесь, пожалуйста, к главе "Испытания системы".

*Рис. 5-2. Фронтальный интеркулер - типичное решение для автомобиля Nissan Silvia.*



### Оптимальная конструкция интеркулера

Факторов, определяющих оптимальность конструкции при создании промежуточного охладителя много, и они различны по своей природе. Эти факторы определяют направления приложения инженерной мысли для постройки промежуточного охладителя, который максими-

зирует отвод тепла и минимизирует потери давления наддува и любые негативные проявления инерционности.

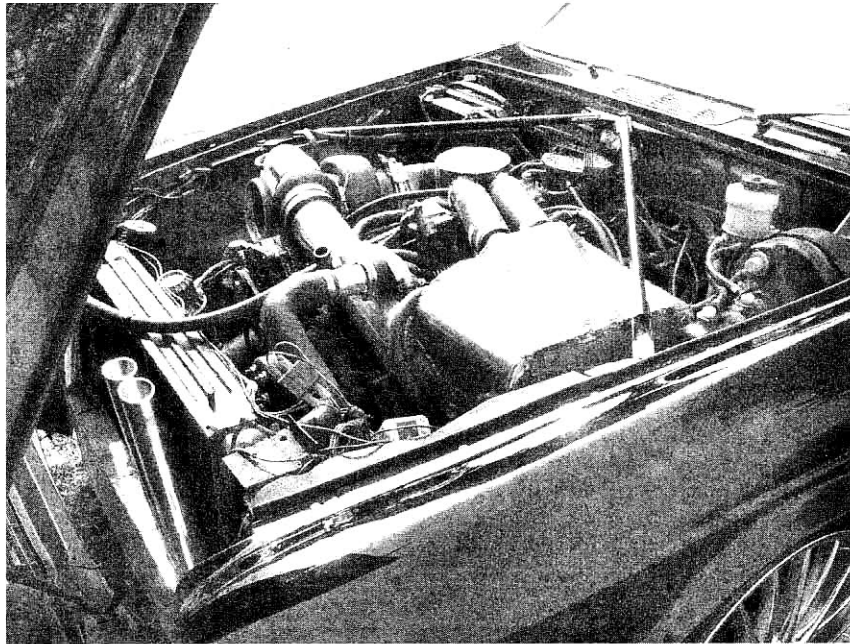


Рис. 5-3. Жидкостный теплообменник, установленный на Jaguar XJ12.

### Площадь теплопередачи.

Площадь теплопередачи – сумма площадей всех пластин и оболочек в ядре теплообменника, которые отвечают за передачу теплоты из системы. Легко заметить, что чем больше площадь теплопередачи, тем более эффективен промежуточный охладитель. Не ждите, однако, что вдвое большая площадь удваивает эффективность. Увеличение ядра на 10% даст вам уменьшение приблизительно на 10% «неполноты эффективности». То есть, увеличение на каждые 10% станет все менее и менее весомым. Например, если существующее ядро промежуточного охладителя имеет эффективность 70%, увеличение ядра на 10% должно дать

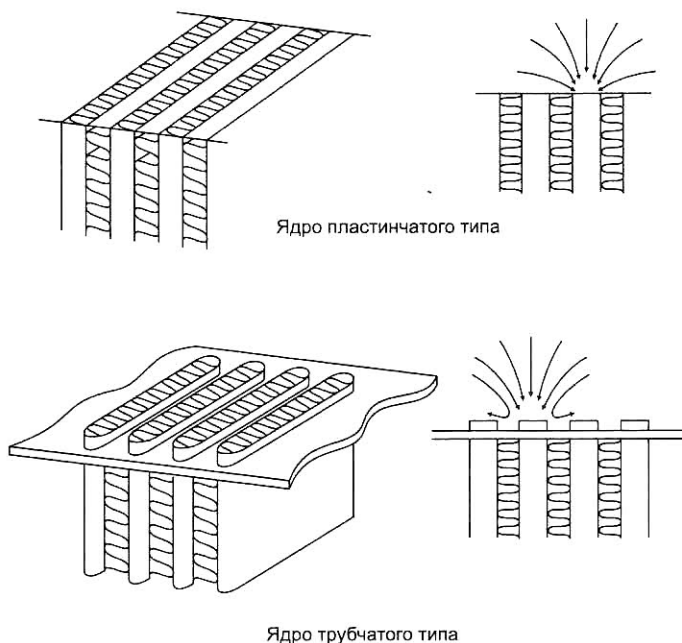


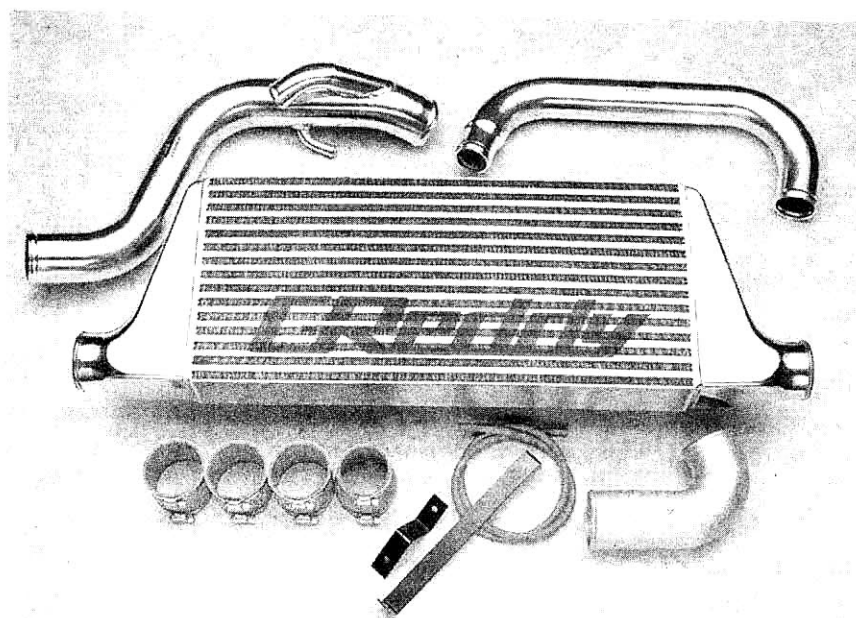
Рис. 5-4. Два наиболее популярных варианта ядра промежуточного охладителя - "пластинчатый" (сверху) и «трубчатый» (снизу). Пластинчатый промежуточный охладитель обеспечивает меньшее сопротивление потоку, в то время как трубчатый промежуточный охладитель имеет тенденцию быть более эффективным с точки зрения теплообмена. "Трубы" обычно делаются 1/4 " толщиной и 1 1/2-3 " шириной.

приблизительно 10% от отсутствующих 30%, другими словами, эффективность увеличенного ядра составит 73%.

### **Внутреннее проходное сечение.**

Конструкция с прямым потоком воздуха через ядро плоха с точки зрения эффективности. Чем более извилист путь воздуха сквозь ядро, тем более вероятно, что он отдаст свою теплоту, а это и есть наша главная задача. Обратной стороной медали является то, что плохая обтекаемость внутри ядра может создавать большие потери давления наддува. Для компенсации плохой обтекаемости внутреннее проходное сечение должно быть сделано достаточно большим, чтобы замедлить скорость движения воздуха внутри ядра промежуточного охладителя и свести потери давления к приемлемому уровню.

*Рис. 5-5. Сейчас практически все after-market производители предлагают комплекты для установки интеркулеров. Комплект интеркулера воздух-воздух от Greddy.*



*Наиболее важный аспект конструкции промежуточного охладителя - низкие внутренние потери давления.*

### **Внутренний объем.**

Сначала весь внутренний объем системы промежуточного охлаждения должен наполниться воздухом под давлением, и лишь тогда какое-то давление будет создано во впускном коллекторе. Хотя этот объем вносит не самый существенный вклад в задержку (лаг), однако и этот аспект конструкции неплохо бы оптимизировать в процессе создания хорошей системы промежуточного охлаждения. Весьма полезно в процессе конструирования представлять себе объем системы и постоянно пытаться убрать излишек. Чтобы количественно представить взаимосвязь между объемом и задержкой, предлагается разделить внутренний объем на расход воздуха через систему на определенных оборотах двигателя и умножить результат на 2. (Коэффициент 2 - результат приблизительного удвоения расхода воздуха через систему при

переходе от простой езды к работе двигателя с наддувом). Приблизительное время задержки в этом случае равно

$$\text{Время} = \frac{\text{Объем}}{\text{Расход}} \times 2$$

Пример:

Пусть объем системы впуска 8,2 литра. Расход воздуха - 8,415 м<sup>3</sup>/мин на режиме приблизительно 5000 оборотов в минуту.

Тогда

$$\text{Время} = \frac{8200 \frac{\text{см}^3}{\text{мин}}}{8,415 \frac{\text{м}^3}{\text{мин}}} \times \frac{60 \frac{\text{сек}}{\text{мин}}}{1000000 \frac{\text{см}^3}{\text{м}^3}} \times 2 = 0,12 \text{ секунды}$$

Совершенно точно можно сказать, что приемистость будет плохой, если двигатель оборудован датчиком расхода воздуха, размещенным слишком далеко от корпуса дроссельной заслонки. Открытие дроссельной заслонки формирует импульс низкого давления, перемещающийся к датчику расхода воздуха. Как правило, этот импульс должен пройти расстояние от корпуса дроссельной заслонки до промежуточного охладителя, сквозь промежуточный охладитель, назад к турбонагнетателю, потом на расходомер, чтобы тот зарегистрировал изменение. Только когда расходомер получит этот импульс, отношение воздух/топливо может измениться топливным контроллером с учетом новых условий нагрузки на двигатель. Надо заметить, что в этой схеме возможны осложнения, связанные с наличием датчика положения дроссельной заслонки, которым может быть оборудован двигатель. И всё-таки, как правило, чем дальше дроссельная заслонка от датчика расхода воздуха, тем хуже приемистость. Таким образом, длине этой траектории необходимо также уделить некоторое внимание на этапе проектирования.

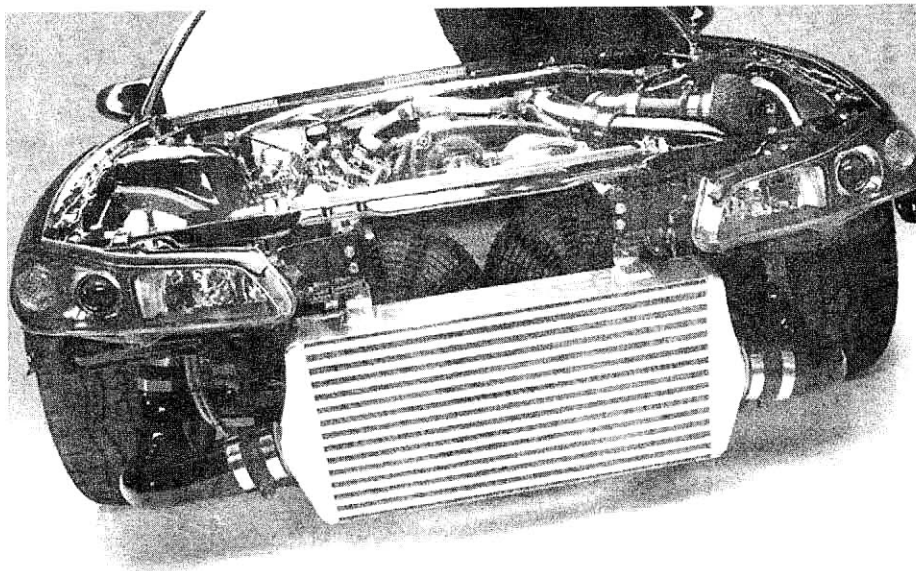


Рис. 5-6. Серьезный подход к промежуточному охлаждению.

Когда двигатель оборудован системой впрыска, оснащённой датчиком давления во впускном коллекторе, и при этом не используется датчик расхода воздуха, либо же речь идёт о двигателе с карбюратором, установленным после турбонагнетателя, длина впускного тракта может быть достаточно длинной без отрицательных последствий, поскольку приемистость при этом не пострадает.

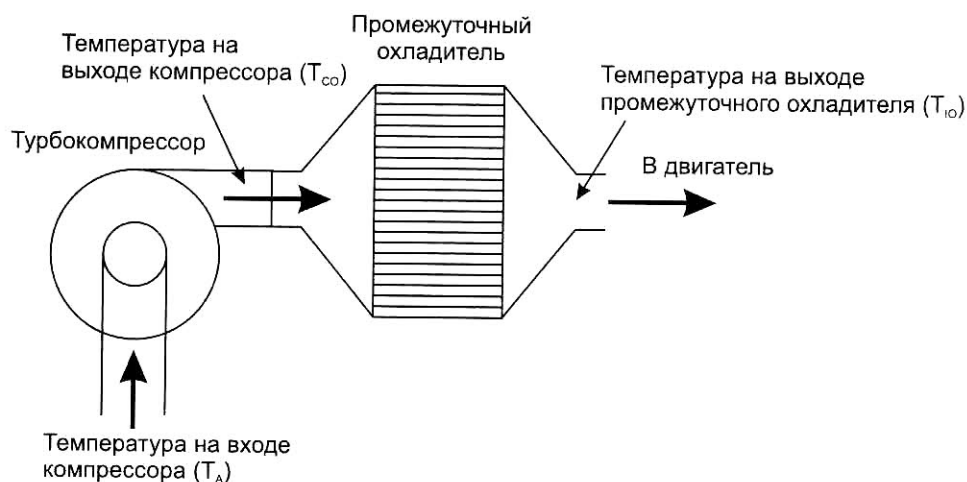
Таким образом, основная задача при проектировании системы промежуточного охлаждения состоит в том, чтобы максимизировать способность системы по отводу теплоты от сжатого воздуха и при этом снизить такие неблагоприятные воздействия, как потеря давления наддува, потеря приемистости или любая задержка при повышении давления наддува.

### Расчёт параметров промежуточного охладителя

Изменение плотности впускного воздуха может быть вычислено относительно изменения температуры, вызванного промежуточным охладителем. Например, предположите, что турбонагнетатель имеет компрессор, повышающий температуру на  $90^{\circ}\text{C}$  выше температуры атмосферного воздуха, то есть до  $383^{\circ}$  абсолютной температуры при нормальной температуре  $20^{\circ}\text{C}$  (нуль градусов Цельсия соответствует  $273^{\circ}$  по абсолютной шкале температуры; прибавьте  $20^{\circ}\text{C}$ , получим  $293^{\circ}$ ,  $90^{\circ}\text{C}$  выше этой температуры -  $383^{\circ}$  абсолютной температуры). Если мы используем в системе промежуточный охладитель с эффективностью  $60\%$ , мы понизили бы температуру воздуха на  $0,6 \times 90^{\circ}\text{C} = 54^{\circ}\text{C}$ , уменьшив повышение температуры до  $36^{\circ}\text{C}$  в отличие от первоначальных  $90^{\circ}\text{C}$  или абсолютную температуру  $293^{\circ} + 36^{\circ} = 329^{\circ}$ . Изменение плотности в этом случае может быть вычислено из отношения первоначальной абсолютной температуры к конечной абсолютной температуре:

$$\text{Изменение плотности} = \frac{\text{начальная абс. температура}}{\text{конечная абс. температура}} - 1 = \frac{293^{\circ} + 90^{\circ}}{293^{\circ} + 36^{\circ}} - 1 = 0,16 = 16\%$$

Рис. 5-7. Вычисление эффективности промежуточного охладителя



Поэтому, этот промежуточный охладитель даст увеличение плотности воздушного заряда приблизительно  $16\%$ . Это означает, что на  $16\%$  большее количество воздушных молекул окажется в камере сгорания.



ния, нежели при отсутствии интеркулера. При неизменных прочих условиях можно было бы ожидать пропорциональное увеличение мощности. Этого, к сожалению, не происходит вследствие потерь давления, вызванных аэродинамическим сопротивлением внутри промежуточного охладителя.

Соответствующее уменьшение мощности, вызванное потерей давления, может быть оценено посредством вычисления отношения абсолютного давления с использованием промежуточного охладителя к давлению без промежуточного охладителя и вычитанием результата из 100%.

Пример:

Если из 0,68 бар, созданного компрессором давления, 0,14 потеряны из-за сопротивления промежуточного охладителя:

$$\text{Потеря мощности} = 1 - \frac{1+0,54}{1+0,68} = 0,08 = 8\%$$

Этот расчёт показывает, что потери при прохождении воздушного потока сквозь промежуточный охладитель составляют 8%. Мысль о том, что потерянное давление наддува может легко быть восстановлено путем регулирования вентгейта, является не совсем правильной, несмотря на всю свою притягательность. Конечно, если давление наддува будет увеличено, мощность увеличится, но последствием этого будет то, что давление на входе в турбину увеличится, поскольку Вы попытаетесь заставить турбину работать при большей нагрузке. Большее давление на входе в турбину создает большее обратное давление, которое увеличивает количество теплоты в камере сгорания, которая понижает плотность воздуха на впуске и так далее, и так далее. Таким образом, можно видеть, что идея восстановления потерянной, из-за наличия интеркулера, мощности, путем повышения давления наддува – это, в некотором роде, попытка ухватить собственный хвост. Слишком бесполезной затеей будет попытка разработать и изготовить мифический промежуточный охладитель с нулевыми потерями.

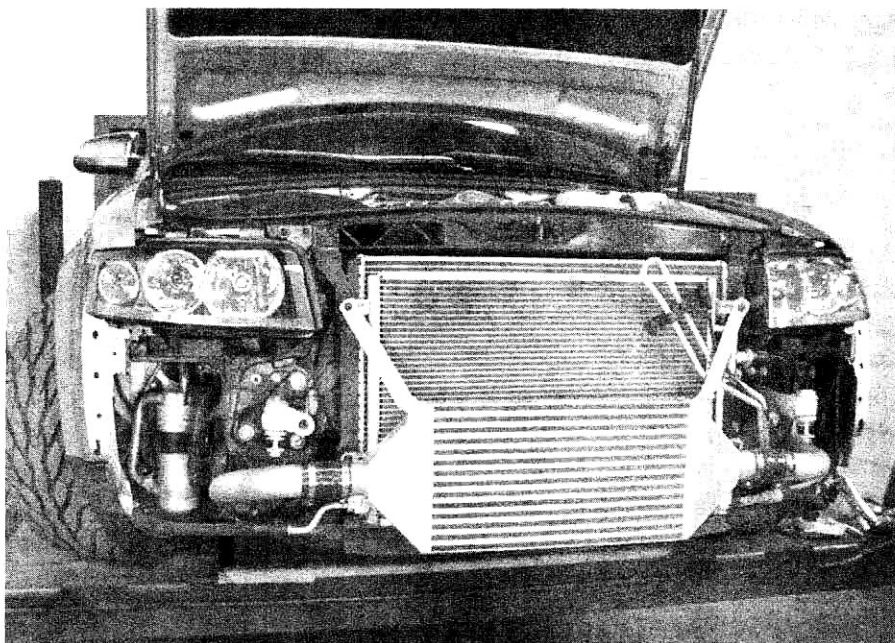


Рис. 5-8. Промежуточный охладитель воздух/воздух, установленный на Audi A4.

### Вычисление КПД промежуточного охладителя

Идея состоит в том, чтобы сравнить увеличение температуры воздуха, вызванного турбонагнетателем, с понижением температуры при прохождении воздуха через промежуточный охладитель.

Увеличение температуры после компрессора - это разность температуры воздуха на выходе из компрессора ( $T_{co}$ ) и температуры окружающей среды ( $T_a$ ).

$$\text{Увеличение температуры} = T_{co} - T_a$$

Количество тепла, отведенного промежуточным охладителем характеризуется разностью температуры воздуха, выходящего из компрессора ( $T_{co}$ ) и температуры воздуха, выходящего из промежуточного охладителя ( $T_{io}$ ).

$$\text{Уменьшение температуры} = T_{co} - T_{io}$$

Эффективность промежуточного охладителя ( $E_i$ ) определяется как отношение понижения температуры к увеличению температуры:

$$E_i = \frac{T_{co} - T_a}{T_{co} - T_{io}}$$

Пример:

Пусть  $T_a = 20^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{co} = 120^{\circ}\text{C}$ , и  $T_{io} = 40^{\circ}\text{C}$ .

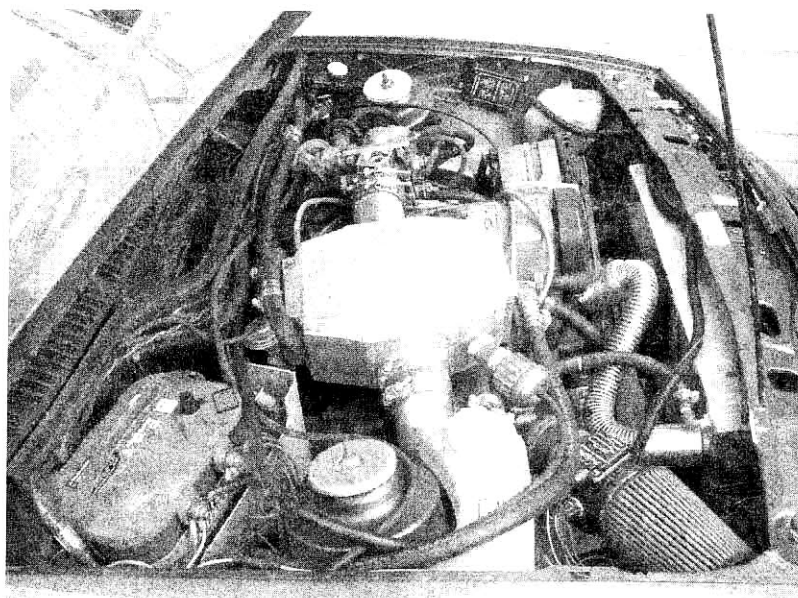
Тогда

$$E_i = \frac{120^{\circ} - 40^{\circ}}{120^{\circ} - 20^{\circ}} = 0,8 = 80\%$$

### Выбор типа промежуточного охладителя

В настоящее время имеются два типа промежуточных охладителей, подходящих для использования: воздух/воздух и воздух/жидкость. Каждый имеет свои особенности. Решение, о том, какой из них является наиболее подходящим для конкретного приложения, должно основываться на следующих факторах:

Рис. 5-9. Жидкостный промежуточный охладитель, установленный на Ford Mercur XR4Ti.



ваться на достоинствах и недостатках каждого из типов применительно к конфигурации транспортного средства.

Агрегат воздух/воздух будет проще, имеет большую тепловую эффективность на высоких скоростях, большую надежность, более простое обслуживание, и, наконец, низкую стоимость. Агрегат воздух/жидкость будет иметь лучший термический к.п.д. на низких скоростях, обеспечивает лучшую приемистость в случаях, когда система впрыска оборудована измерителем массового расхода, меньшую потерю давления и снижает вероятность работы компрессора на неустойчивых режимах. Габаритные ограничения или сложности прокладки воздухопроводов могут диктовать невозможность использования агрегатов воздух/воздух. В подобных случаях выбор осуществляется сам собой.

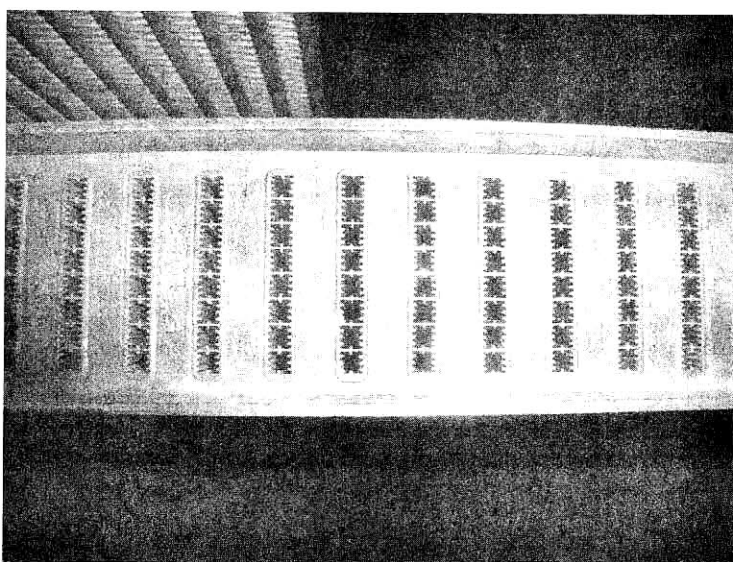


Рис. 5-10. Ядро промежуточного охладителя трубчатого типа обеспечивает хороший теплообмен за счет развитых турбулизаторов, но меньшую внутреннюю площадь проходного сечения.

### Промежуточный охладитель воздух/воздух

При конфигурировании промежуточного охладителя воздух/воздух необходимо в равной степени уделять адекватное внимание самым разнообразным факторам. Хорошо сбалансированная и оптимизированная конструкция может получиться только вследствие кропотливой работы над деталями, пока все нюансы конструкции не будут соответствовать техническим требованиям, перечисленным в следующих параграфах.

#### **Внутреннее проходное сечение.**

В первую очередь потери давления при прохождении воздуха сквозь промежуточный охладитель зависят от внутреннего проходного сечения ядра теплообменника.

Не существует никакой волшебной формулы для вычисления правильного проходного сечения при заданном расходе воздуха, но опыт показал, что следование рекомендациям, отраженным на рисунке 5-13, приносит удовлетворительные результаты.

Если бы не завихрители, которые будто палка о двух концах, мы могли обойтись намного меньшими проходными сечениями, но тогда теплопередача была бы значительно меньшей. Задача завихрителей состоит в том, чтобы внутри ядра не существовало никакого ламинарного

течения. Если эта задача выполнена, каждая молекула впускного воздуха получит шанс достигнуть стенки ядра и передать ей часть своей энергии в виде теплоты. При частом расположении завихрителей теплообмен лучше, но и потери давления выше. Если имеется пространство для размещения большого ядра, вполне можно выбрать ядро с частыми завихрителями и найти компромисс между высоким сопротивлением завихрителей и большим внутренним проходным сечением. В противном случае: там, где пространство строго ограничено, должно быть выбрано ядро с низкой плотностью завихрителей.

Рис.5-11. Компоненты ядра промежуточного охладителя. Воздух из турбонагнетателя подается в каналы для нагнетаемого воздуха. Сторона окружающего воздуха размещается так, чтобы набегающий воздух охлаждал ядро. Крайние пластины, паянные к внешней поверхности, обеспечивают зазор и жесткость. Завихрители способствуют передаче тепла от труб к разделительным пластинам и оттуда к окружающему воздуху сквозь каналы охлаждающего воздуха.

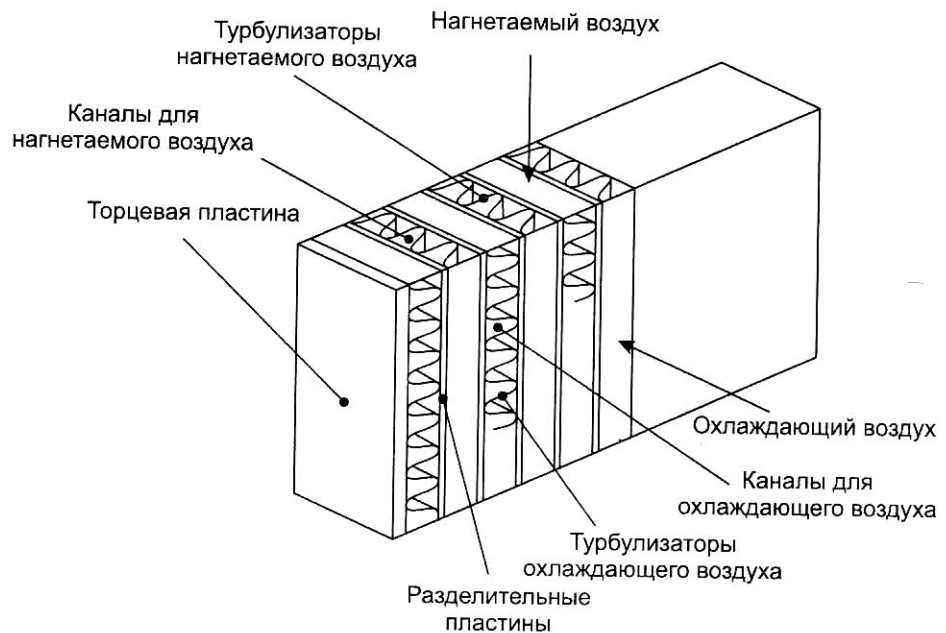
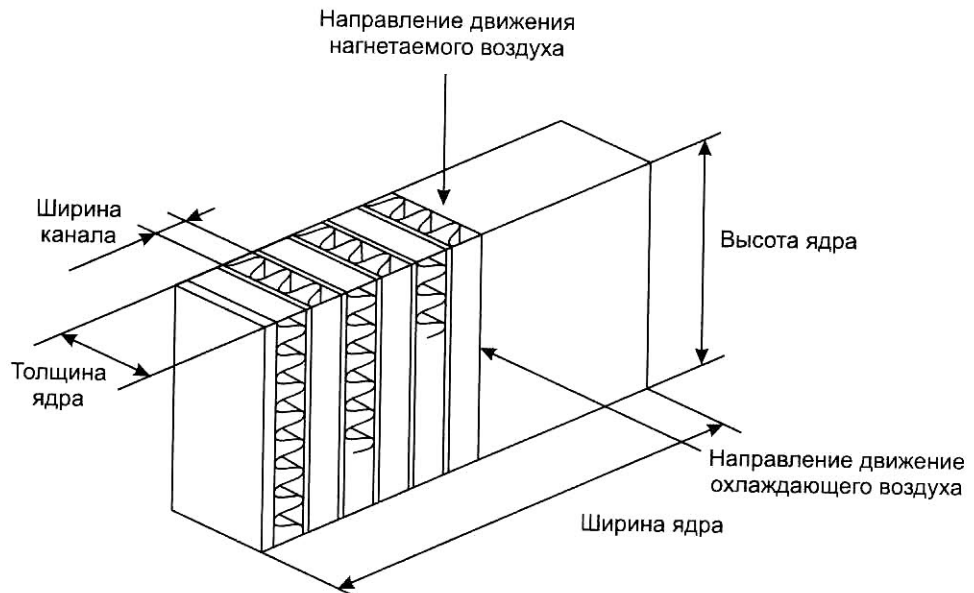


Рис. 5-12. Измерение проходного сечения ядра.



### Выбор размера ядра.

Как только внутреннее проходное сечение будет рассчитано, могут быть определены габаритные размеры ядра и его форма. У большинства ядер воздух может пройти через примерно 45% площади стороны для нагнетаемого воздуха. Чтобы найти заданную площадь стороны для нагнетаемого воздуха, разделите внутреннее проходное сечение на это число 45%. Ядра обычно имеют толщину 50 и 75 мм, длину (высоту) каналов 150, 200, 250, и 300 мм, и ширину 225, 450, и 600 мм (которая может быть уменьшена до конкретного точного размера). Существуют ядра с более длинными каналами, но они имеют свойство ухудшать внутреннее проходное сечение, как показано на рис. 5-20 и 5-21.

Пусть расход воздуха составляет  $14 \text{ м}^3$ . Рис. 5-13 показывает, что типичный промежуточный охладитель требовал бы внутреннего проходного сечения приблизительно  $170 \text{ см}^2$ .

Поэтому,

Для ядра толщиной 75 мм.

$$\text{Ширина} = \frac{170 \text{ см}^2}{7,5 \text{ см}} = 22,7 \text{ см}$$

Для ядра толщиной 50 мм.

$$\text{Ширина} = \frac{170 \text{ см}^2}{5 \text{ см}} = 34 \text{ см}$$

Если имеется пространство для ядра толщиной 50 мм, эффективность окажется немного больше, поскольку увеличится ширина и, следовательно, возрастёт лобовая площадь. Хотя более тонкое ядро является лучшим выбором, тем не менее, толстое ядро также полностью работоспособно.

Длина воздушных каналов (высота), умноженная на ширину ядра - фактическая лобовая площадь.

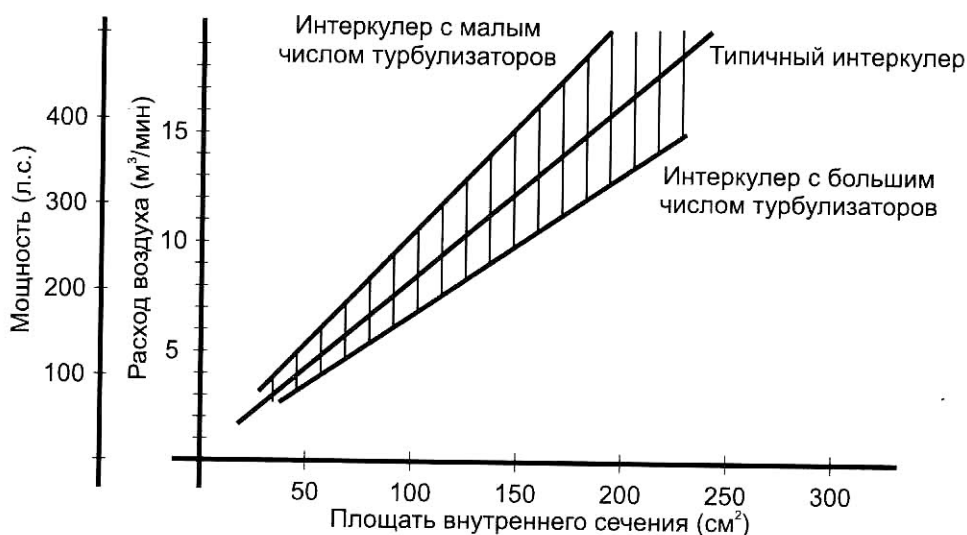


Рис. 5-13. Оценка требуемого внутреннего проходного сечения ядра.

### Фронтальная площадь

Фронтальная площадь интеркулера влияет на количество окружающего воздуха, проходящего через ядро и охлаждающего надувочный воздух. Чем больше количество окружающего воздуха проходит через ядро, тем выше охлаждающие возможности интеркулера. Расход воздуха определяется как произведение скорости движения и фронтальной площади ядра.

$$\text{Расход воздуха} = V \times S$$

Пример:

Пусть  $V = 90$  километров в час и  $S = 355 \text{ см}^2$

$$\text{Расход воздуха} = 90 \frac{\text{км}}{\text{ч}} \times 0,0355 \text{ м}^2 \times 1000 \frac{\text{м}}{\text{км}} \times \frac{1}{60} \frac{\text{ч}}{\text{мин}} = 53 \frac{\text{м}^3}{\text{мин}}$$

Таким образом, видно, что из двух ядер с фактически равным внутренним проходным сечением, ядро с большей лобовой площадью будет лучше.

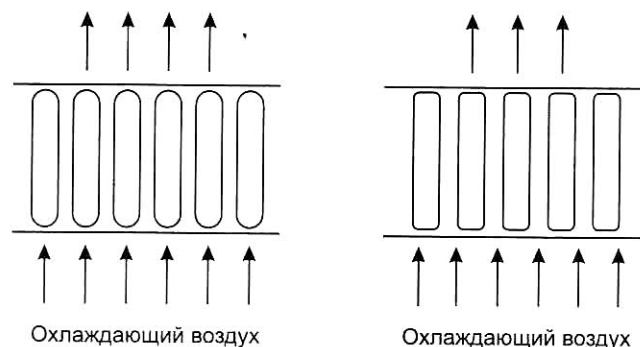
Рис. 5-14. Оценка количества охлаждающего воздуха, проходящего через промежуточный охладитель



### Коэффициент лобового сопротивления интеркулера

Коэффициент лобового сопротивления определяет легкость, с которой окружающий воздух проходит через ядро. Конечно, чем легче воздуху проходить сквозь ядро, тем больше будет расход окружающего воздуха и, следовательно, выше охлаждающий эффект. Например, если трубы, по которым проходит впускной воздух, в ядре имеют скругленные края, расход поступающего окружающего воздуха, вероятно, будет

Рис. 5-15. Поток окружающего воздуха сквозь ядро пропорционален коэффициенту лобового сопротивления ядра. Экструдированное ядро с закругленными краями обеспечивает прохождение большего количества охлаждающего воздуха.





несколько большим. В большинстве выпускаемых интеркуллеров, коэффициент лобового сопротивления для окружающего воздуха – упущенная деталь конструкции.

### Воздухозаборники

Форма воздухозаборников также определяет количество проходящего через интеркуллер воздуха. Они заставляют молекулы воздуха проходить сквозь ядро. Не недооценивайте способность воздухозаборников улучшить эффективность промежуточного охладителя. Можно предложить, что при хорошем подходе можно достичь увеличения эффективности на 20 %.

При изготовлении воздухозаборников стоит приложить дополнительные усилия, чтобы быть уверенным, что молекулы воздуха не имеют никакого другого пути, кроме как через ядро интеркуллера. То есть герметизируйте все ребра, углы, и соединения.

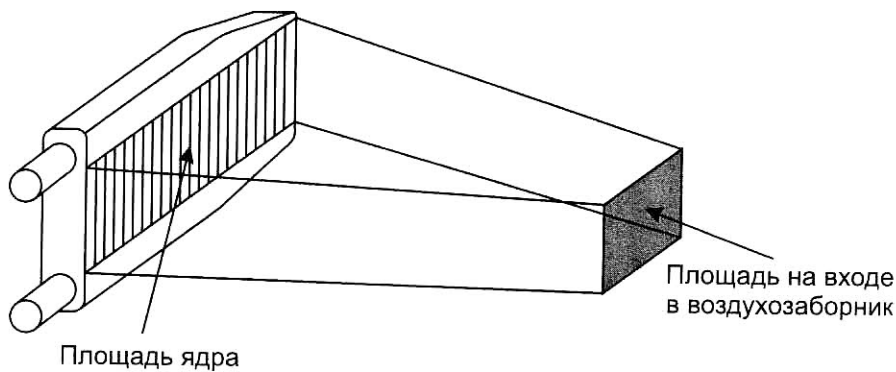


Рис. 5-16. Минимальная площадь входного канала не должна быть меньше одной четверти площади ядра.

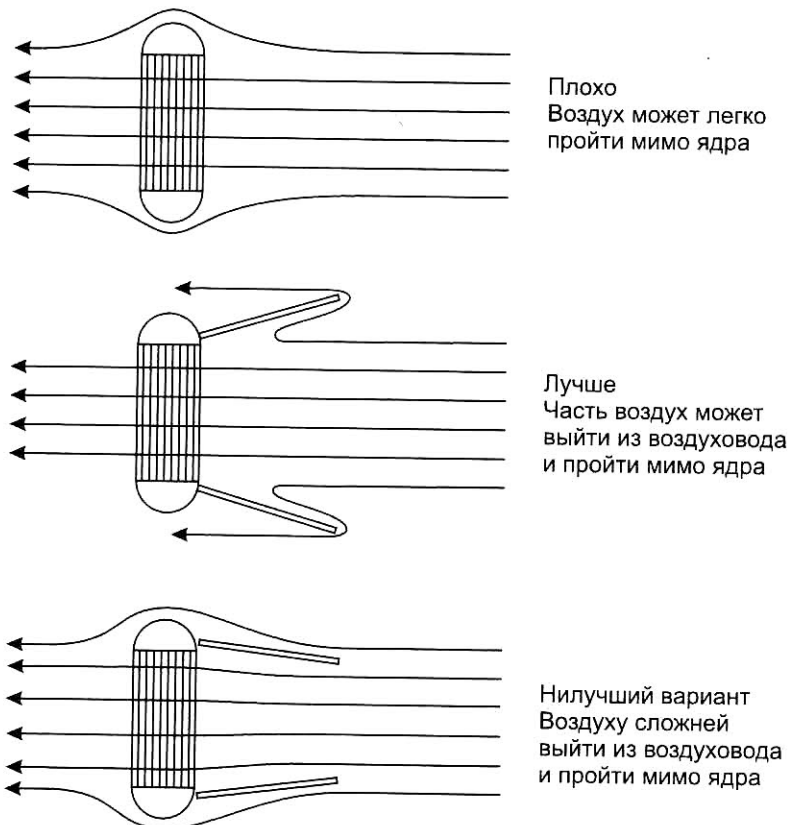


Рис. 5-17. Правильная система подвода воздуха направит большее количество охлаждающего воздуха сквозь промежуточный охладитель

Нет необходимости в том, чтобы входной канал был столь же большим как лобовая площадь ядра интеркулера. Практическое правило состоит в том, чтобы входной канал был по крайней мере размером в четвертую часть площади ядра. Это довольно странное правило вызвано тем фактом, что меньше чем четверть количества воздуха прошла бы через ядро без влияния трубок интеркулера.

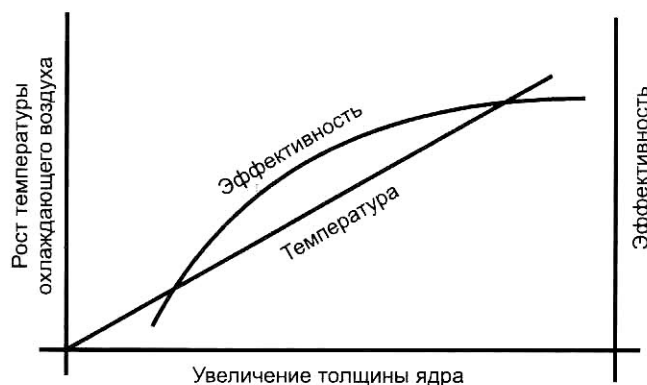
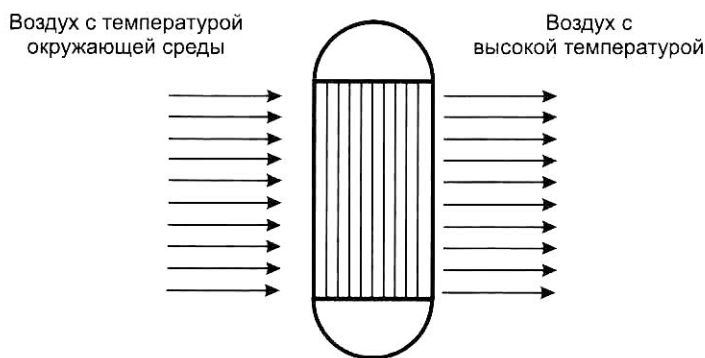
### Толщина Ядра

Выбор толщины ядра промежуточного охладителя немного похож на жонглирование. Это вызвано тем фактом, что вторая половина любого ядра делает только четвертую часть работы по охлаждению.

Добавление толщины ядра действительно улучшит эффективность, но увеличение будет все меньше и меньше. Другой отрицательный эффект, играющий роль, при увеличении толщины: увеличивающийся коэффициент лобового сопротивления интеркулера. Разумный способ установки ядра, когда лобовая площадь недостаточна и имеется избыточная глубина - интеркулер с разделенным ядром, обсуждаемый позже.

**При выборе промежуточного охладителя, расценивайте интеркулер с толстым ядром как необдуманное решение.**

Рис. 5-18. Увеличение толщины ядра не увеличивает пропорционально возможности теплопередачи. Каждое следующее увеличение толщины ядра получит более горячий охлаждающий воздух.



### Направление потока в ядре интеркулера

Когда имеется достаточно пространства для размещения большого интеркулера необходимо определить ориентацию ядра интеркулера. Если какие-либо причины не диктуют особенных требований,

ядро всегда должно быть ориентировано для обеспечения самого большого возможного внутреннего проходного сечения. Направление потока не так важно. Например, интеркулеры на рисунке 5-20 занимают одинаковое пространство, но агрегат с вертикальным потоком имеет большую внутреннюю площадь и, следовательно, дает создает меньшее сопротивление потоку воздуха.

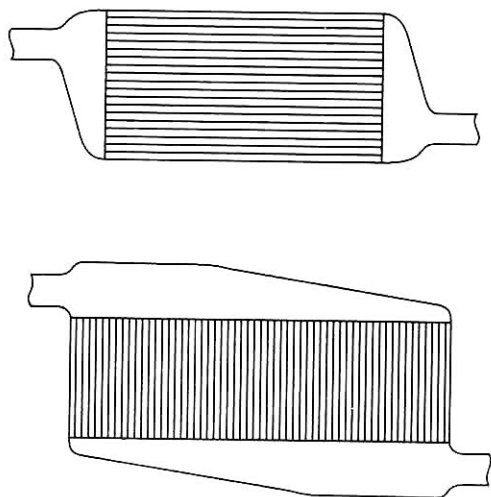


Рис. 5-19. Верхнее и нижнее ядра имеют одинаковую лобовую площадь, площадь теплопередачи, и эффективность, но нижнее ядро, имеет намного большее внутреннее проходное сечение, из-за большего числа каналов для воздуха и, поэтому, более низкие потери давления.

### Конструкция концевых резервуаров промежуточного охладителя

Несколько деталей в проекте концевых резервуаров, присоединяемым к ядру интеркулера, могут улучшить термический к.п.д. и уменьшить потери давления. Это конечно не лучшая идея думать, что все молекулы воздуха легко и просто найдут свой путь «в» и «из» промежуточного охладителя. Думайте о них как о пасущихся овцах. Дайте им направление и сделайте перемещение легким для них.

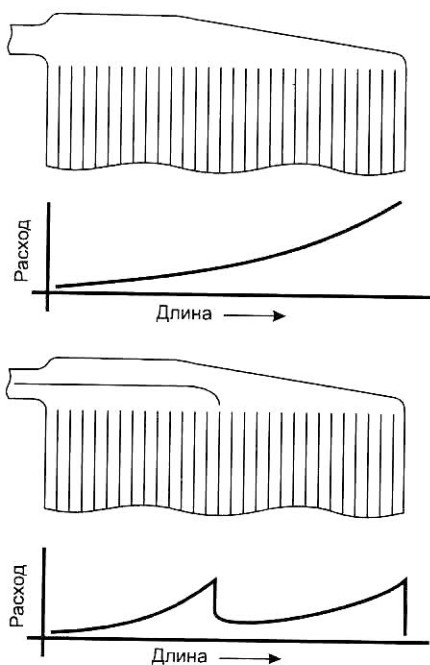


Рис. 5-20. Правильное внутреннее экранирование может обеспечить равномерное распределение воздушного потока внутри ядра и, таким образом, больший отвод тепла. Добавьте перегородку, направляющую одну половину впускного воздуха в одну половину ядра, а оставшуюся часть во вторую половину ядра.

### Конструкция входного резервуара

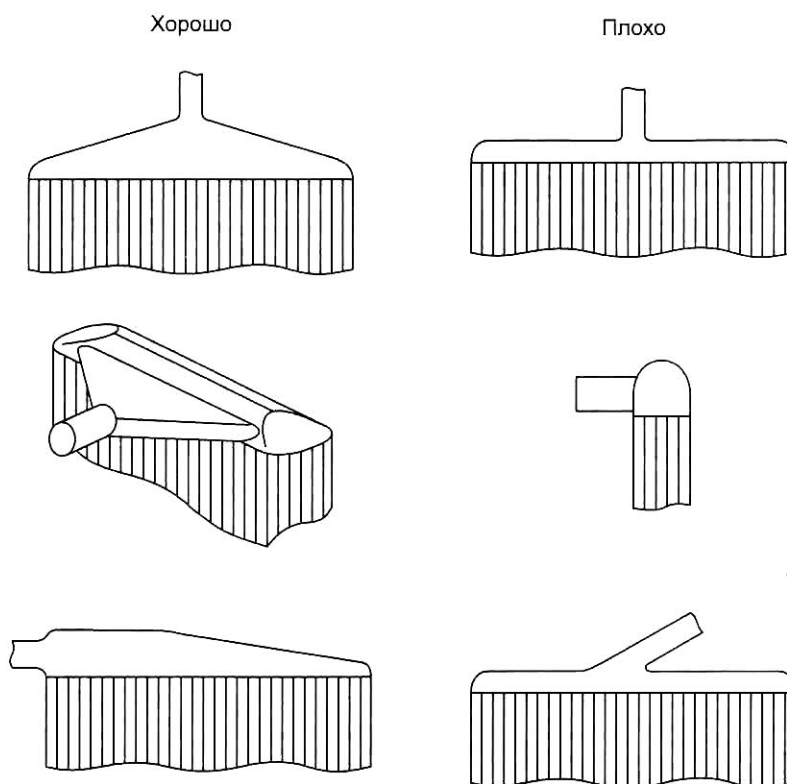
Совершенно ясно, что термический КПД увеличится, если мы можем получить равномерное распределение воздушного потока сквозь трубы ядра. Необходимые усилия для выполнения этого могут быть сделаны путем установки соответствующих перегородок во входном резервуаре.

Положению входа во входной резервуар необходимо уделить внимание в нескольких областях. Всегда помните о требованиях равномерного распределения воздуха и легком входе потока в резервуар.

### Конструкция выходного резервуара

После того, как работа по распределению сделана во входном резервуаре, теперь необходимо в выходном резервуаре собраться все молекулы и направить их в двигатель. При этом нужно уделить внимание, как спрямлению потока, так и к сведению потерь давления к минимуму. Заострите внимание на направлении выхода, и не заставляйте поток внезапно менять направление.

Рис. 5-21. Удачные и не очень варианты выходного резервуара интеркулера.



### Размеры и форма труб

Вероятно есть магическая скорость, которую не должна превышать скорость воздушного потока в трубе, из-за быстро увеличивающегося сопротивления и последующей потери давления. Значение этой критической скорости около  $0,4 M$  или приблизительно  $140 \text{ м/с}$ , поскольку после достижения этой скорости сопротивление, а за ним и потери давления, значительно увеличиваются. Можно легко выбрать нужный диаметр трубы, вычислив максимальный расход воздуха и раз-

делив его на площадь сечения трубы. Приближенное значение максимального расхода воздуха можно узнать, умножив желаемую мощность в л.с. на 0,05.

Пример:

Допустим максимальный расход воздуха равен приблизительно 8,415 м<sup>3</sup>/мин, и диаметр воздуховода = 50 мм. Тогда

$$\text{Скорость} = \frac{\text{Расход}}{\text{Площадь}} = \frac{8,415 \frac{\text{м}^3}{\text{мин}} \times \frac{1 \text{ мин}}{60 \text{ сек}}}{\pi \left(\frac{5}{2}\right)^2 \text{ см}^2 \times \frac{1 \text{ м}^2}{10000 \text{ см}^2}} = 71,5 \frac{\text{м}}{\text{сек}}$$

Скорость звука - приблизительно 340 м/с. Поэтому,

$$M = \frac{\text{Скорость потока}}{\text{Скорость звука}} = \frac{71,5}{340} = 0,21$$

Таким образом, трубы диаметром 50 мм будет достаточно для подачи 8,5 м<sup>3</sup>/мин без значительного возрастания сопротивления.

Не поддайтесь искушению, чтобы использовать трубы большего диаметра, чем необходимо, так как в гладких трубах с плавными изгибами обеспечивается небольшое сопротивление. Большие трубы только увеличат объем системы промежуточного охлаждения, и поэтому не стоит делать этого.

***Толстая труба не обязательно лучше, чем тонкая труба.***

### **Изгибы и изменения сечения**

Любой изгиб трубы или внезапное изменение поперечного сечения должны рассматриваться как потенциальные места потери расхода или источники увеличенного сопротивления. Необходимо заметить, что каждый раз при повороте потока воздуха на 90° происходит потеря 1 % расхода. Три 30° изгиба составят в целом 90°. Всегда используйте самый большой возможный радиус для любого изменения направления.

Конечно изгиб 90° с малым радиусом будет давать большие потери, чем изгиб с большим радиусом. Изменение от одного размера трубы к другому, часто необходимо для подсоединения к корпусу дроссельной заслонки, выходу из турбонагнетателя, входу и выходу из промежуточного охладителя. Эти изменения сечения нарушают плавность потока и создают потери.

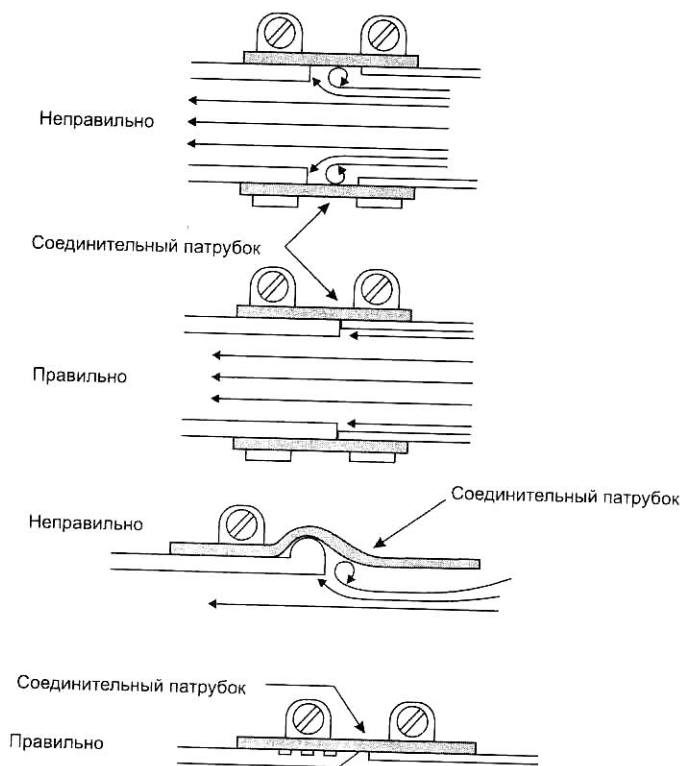
Плавные изменения сечения лучше всего могут быть выполнены в виде конических сегментов. Нужно следовать практическому правилу для определения угла конуса – одно изменение диаметра на длине в четыре диаметра.

### **Шланги и соединения**

Все шланги и соединения являются местами потенциальных неисправностей. В начале проектирования системы турбонаддува рассмотрите все шланги и соединения как слабые места системы впуска.

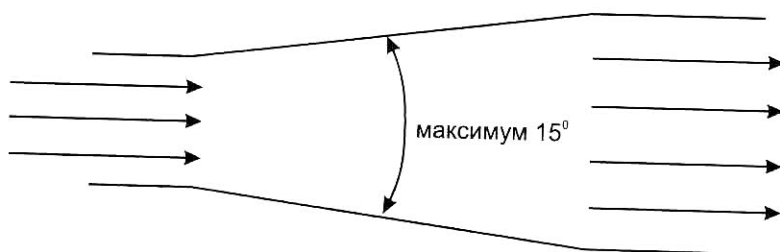
Неисправность соединения шлангов конечно означает потерю давления наддува. Однако, в случае если система управления двигателем использует датчик массового расхода воздуха, двигатель не будет работать должным образом. Когда шланг поврежден, воздух может поступать в двигатель минуя расходомер, и поэтому датчик массового расхода воздуха будет вырабатывать сигнал, не соответствующий реальному расходу воздуха. Без правильного сигнала, двигатель будет работать плохо или вообще не будет работать. Проблема с соединениями шлангов и трубопроводов состоит в том, что к каждому соединению приложена нагрузка, стремящаяся разорвать его. Эта нагрузка равна площади поперечного сечения трубы умноженному на давление наддува.

Рис. 5-22. В соединениях труб могут возникать различные препятствия для потока воздуха.



Если в системе воздух под давлением 1,4 бара подается в трубопровод диаметром 50 мм, его соединения будут подвергаться нагрузке около 30 килограмм, стремящейся разъединить их. Эта нагрузка будет стягивать шланг с трубы, если на трубе отсутствуют какие либо препятствия от стягивания шланга, или нагрузка не направлена по другому пути. Во многих случаях шланг может быть закреплен на трубе настолько ужасно, что это может вызвать разъединение соединения. Лег-

Рис. 5-23. Угол раствора конуса больше 15° может вызвать отрыв пограничного слоя воздушного потока и увеличение сопротивления.





кое решение этой проблемы - соединительная тяга между трубами для передачи нагрузки минуя шланг. При этом обеспечить требуемый ресурс шланга гораздо проще.

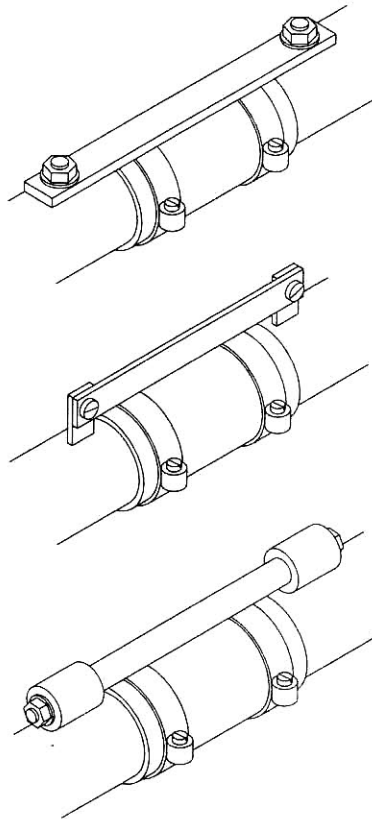


Рис. 5-24. Соединительные тяги на трубах промежуточного охладителя разгружают соединение от растягивающих нагрузок.

Несчастный шланг пытается вынести эти нагрузки при высокой температуре, в среде, насыщенной парами углеводородов. Необходимо найти материал для шланга непроницаемый для углеводородных топлив и имеющий незначительное ухудшение свойств при высоких температурах. Такие шланги обычно изготавливаются из кремний-органических материалов, как правило - из фтор-силиконовых каучуков.

### Размещение промежуточного охладителя

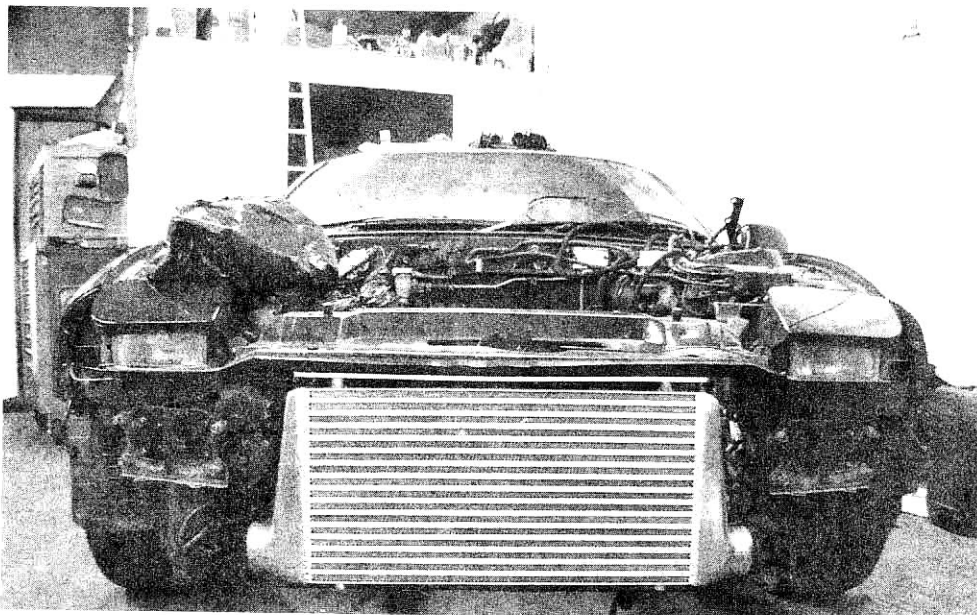
Поиск места для размещения промежуточного охладителя часто сводится к поиску доступного пространства для достаточно большого агрегата. Для этого не требуется научных знаний. Однако, необходимо соблюсти несколько правил. Недопустимо размещение промежуточного охладителя воздух/воздух в двигательном отсеке. Размещение его за радиатором системы охлаждения также не годится.

Помните, что воздух, прошедший через радиатор системы охлаждения имеет температуру около 50°C или более, он горячей окружающего воздуха и поэтому не способен охладить что-нибудь.

Действительно, турбонагнетатель при низких давлениях наддува, не может нагреть впускной воздух до температуры подкапотного воздуха, который якобы должен охладить интеркулер. Когда это происходит, промежуточный охладитель становится «промежуточным нагревателем», а не нужной частью системы турбонаддува. Когда над-

дув повышается и температура впускного воздуха превышает температуру подкапотного пространства, промежуточный охладитель, начнет немного охлаждать, но будет всегда страдать от серьезной потери своей эффективности. А это не то, что мы хотим получить. Так же нежелательным является излучение тепла под капотом от нагретых деталей двигателя. Термоизоляция и правильно проложенные трубы могут помочь решить эти задачи, но, совершенно очевидно, что моторный отсек неподходящее место для промежуточного охладителя.

Рис. 5-26. Интеркулер должен стоять первым на пути охлаждающего воздуха.



*Всегда будьте в поисках злодея называемого " промежуточный нагреватель "*

#### Промежуточный охладитель с разделенным ядром

В ситуации, когда фронтальное пространство для интеркулера ограничено, но имеется избыточная глубина, необходимо рассмотреть интеркулер с разделенным ядром. Вообще интеркулер с разделенным ядром - простой интеркулер с более толстым ядром с перемещенной назад одной половиной. Некоторое количество свежего воздуха подводится к нему, в то время как отработанный воздух от переднего ядра проходит вокруг второго ядра. Компактный, с высоким расходом интеркулер может быть смонтирован при помощи компоновки с разделенным ядром. Эффективность может быть достаточно высока, потому что задняя половина интеркулера делает свою часть работы.

#### Промежуточный охладитель воздух/жидкость

Когда пространство или сложности прокладки трубопроводов исключают использование агрегатов воздух/воздух, жидкостная система промежуточного охлаждения становится хорошей альтернативой. Большинство требований к конструкции для интеркулера воздух/воздух также применимо к жидкостному интеркулеру. Хотя имеются различия, вызванные подачей жидкости. В то же время сложная система жидкост-

ного охлаждения имеет одно потрясающее преимущество - гораздо больший коэффициент теплопередачи между жидкостью и металлом в отличии от теплопередачи между воздухом и металлом.

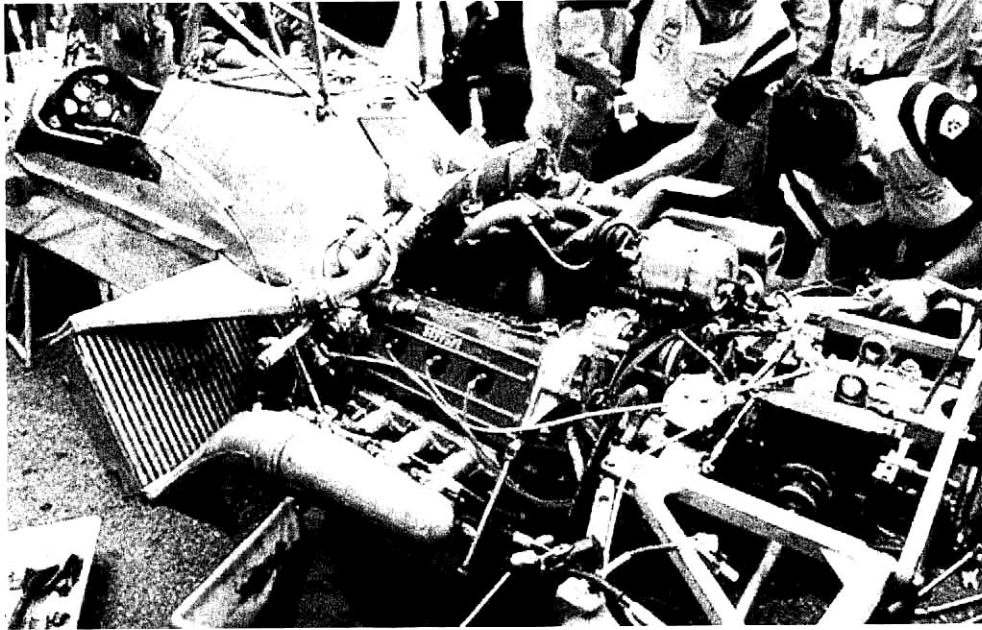


Рис. 5-27. Интеркулер на спортивном автомобиле Ferrari 126. На спортивных автомобилях всегда будут установлены интеркулеры воздух/воздух.

Эта большая разница будет играть свою роль, только если все барьеры теплопередачи будут оптимизированы, таким образом можно получить значительное увеличение эффективности промежуточного охладителя. Это путь к системе промежуточного охлаждения, которая имеет термический КПД более 100 %. В настоящее время это не имеет практического применения кроме автомобилей для дрег рэйсинга, машин для максимальной скорости, или для морского применения. Решение этой задачи требует услуг гениального изобретателя. Без любых изобретательных решений, жидкостные системы промежуточного охлаждения превращаются в агрегаты воздух/воздух, в которых теплоту

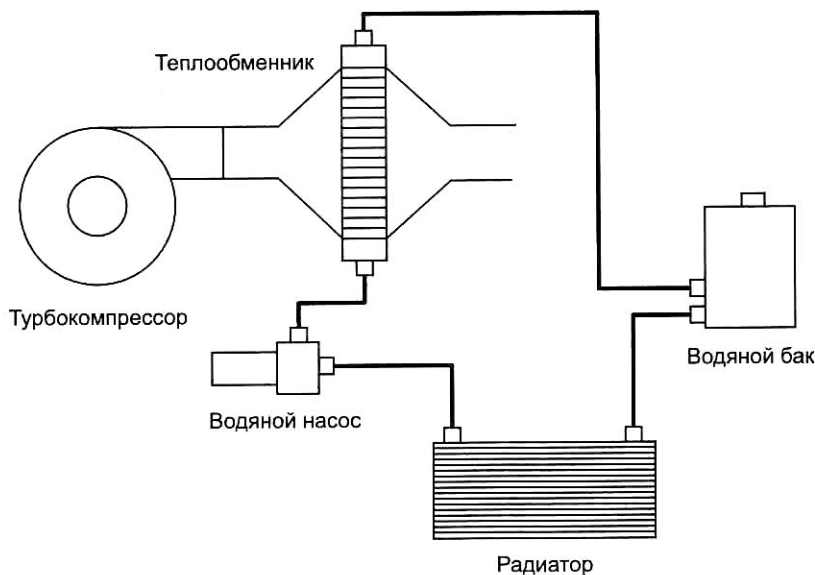
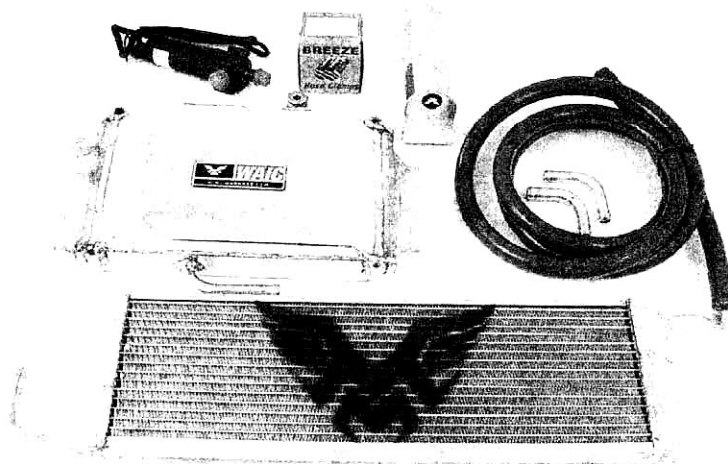


Рис. 5-28. Общая схема жидкостной системы промежуточного охлаждения

впускного воздуха, для передачи в атмосферу, переносит жидкость, в отличие от использования для этого непосредственно воздуха.

Основные проблемы при использовании жидкости в значительной степени сосредоточены вокруг расхода жидкости, ее количества в системе, и последующем ее охлаждении.

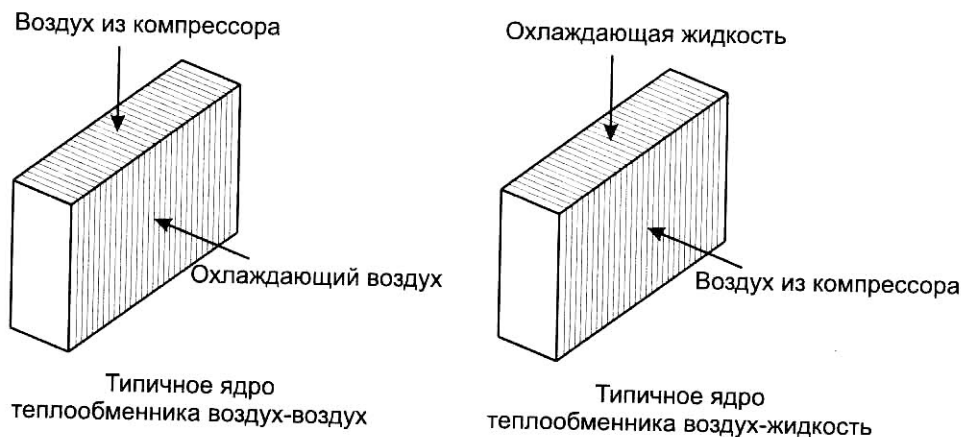
Рис. 5-29. Система промежуточного охлаждения воздух/жидкость для автомобиля Mini Cooper.



### Теплообменник впускного воздуха.

Внутри жидкостного интеркулера легко можно получить большое внутреннее проходное сечение, так как наиболее подходящие для этой цели ядра часто являются воздушными агрегатами, в которые воздух подается с другой стороны.

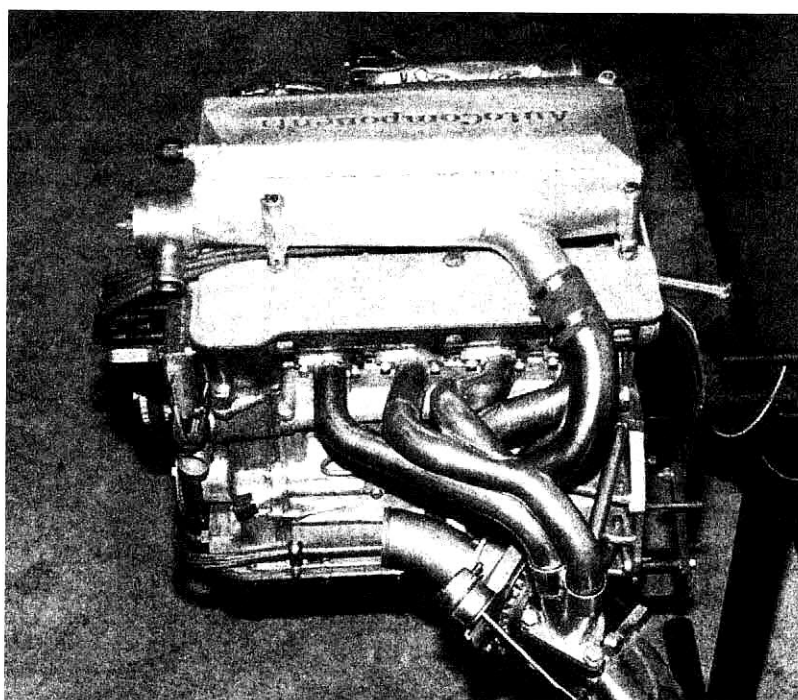
Рис. 5-30. При использовании типичного ядра воздух/воздух в качестве жидкостного теплообменника, полностью измените направление воздушного потока, чтобы получить большее проходное сечение.



Хотя алюминий гораздо более удобный материал для использования в любых интеркулерах, медные элементы ядра, когда условия позволяют их использовать, могут обеспечивать больший коэффициент теплопередачи. Большие проходные сечения, обычно связанные с водяными интеркулерами, позволяют увеличить толщину ядра настолько, насколько позволяет пространство.

Можно предполагать, что жидкость найдет равный доступ ко всем трубам ядра, но распределению воздуха в верхних частях ядра нужно уделить внимание. Простые каналы для воздуха могут предотвращать воздушные ямы. Лучшее решение состоит в том, что жидкость необходимо подводить в самой холодной точке и отводить ее в самой горячей точке.

Небольшие утечки воздуха в интеркулере воздух/воздух не критичны, но любая протечка жидкости в основном ядре теплообменника может быть бедствием. Таким образом интеркулер должен быть обязательно отпрессован и проверен на утечки перед использованием. Давление в 0,5 - 0,7 бара, при наполненном водой ядре, будет подходящим для этого. Не сильно удивляйтесь, когда увидите воздушные пузыри, выходящие через алюминиевые стенки.



*Рис. 5-31. Вариант жидкостного промежуточного охладителя, интегрированного во впускной коллектор на двигателе Alfa Romeo.*

### Насосы

Наиболее полезные насосы – 12-вольтовые морские трюмные насосы. Они могут быть соединены последовательно или параллельно, в зависимости от давления и расхода жидкости через них. Нельзя упустить тот факт, что чем больше прокачка воды, тем выше эффективность интеркулера. Рассматривайте расход воды 40 л в минуту как минимальный. Необходимо найти компромиссное решение относительно ресурса насоса с одной стороны и эффективностью интеркулера с другой, если требуются, чтобы насосы работали постоянно. Имея в виду важность характеристик, ответ должен быть – насосы должны работать непрерывно. Если насосы работают непрерывно, происходит интересная вещь – когда нет давления наддува, впускной воздух будет охлаждать воду в интеркулере.

Подключение насосов к 12-вольтовому источнику питания обеспечит полную проверку их работоспособности при включении зажигания. Насосы должны быть установлены как низшие точки системы



промежуточного охлаждения, так, чтобы они всегда были заполнены водой и таким образом, исключалась возможность их работы всухую.

### **Теплоноситель**

Вода самая лучшая охлаждающая среда. Гликоль и другие незамерзающие вещества ухудшают способность воды переносить теплоту и должны использоваться только в количествах, требуемых для предотвращения замерзания теплоносителя и коррозии элементов системы.

Используйте то же самое соотношение воды и антифриза в интеркулере, которое используется в системе охлаждения двигателя. Использование современного антифриза улучшит антикоррозионные свойства и предотвратит коррозию алюминия. Дистиллированная или деминерализованная вода обеспечит содержание системы в чистоте.

### **Резервуары**

Размер резервуара имеет важное значение в эффективности жидкостного интеркулера. Имейте в виду, что большинство применений наддува продолжается всего несколько секунд – скажем, 15 в среднем. Тогда разумно убедиться, что в этом промежутке времени любая данная часть воды не должна дважды попасть в интеркулер. Насос с производительностью 40 л в минуту будет перемещать 10 л за 15 секунд: таким образом, здесь подходящий размер резервуара – 10 л. Такой объем может показаться большим, но мы сделали вывод, что чем больше резервуар, тем больше время потребуется воде, чтобы повторно пройти через интеркулер. Не трудно заметить, что поскольку используется большой резервуар, уменьшается потребность в передних радиаторах. Имейте в виду, что чем больше масса воды, тем больше тепловая инерция.

### **Передний радиатор**

Передний радиатор – наименее важная часть системы промежуточного охлаждения, поскольку он выполняет свою работу, когда наддува нет. В начале работы под наддувом, вся система будет иметь приблизительно температуру окружающей среды. Когда давление начнет расти, нагревая жидкость в основном ядре интеркулера, нагретая жидкость должна попасть в радиатор прежде, чем возникнет перепад температур, чтобы вытеснить теплоту. Она попадет в радиатор, может быть через 7 или 8 секунд, в зависимости от размера резервуара. Этот интервал времени типичен для работы под наддувом. Теперь ясно, что передний радиатор будет выполнять большинство своей работы после работы под давлением. Так как перепад температур между водой и передним радиатором мал по сравнению с перепадом температур между нагнетаемым воздухом и водой, время, требуемое для охлаждения воды намного больше, чем время, требуемое для ее нагрева. Это еще одна причина для того, чтобы водяные насосы работали постоянно. Передний радиатор не должен быть столь большим, как это может казаться на первый взгляд, потому что при установке двух радиаторов друг за другом, через передний радиатор будет проходить гораздо больше воздуха, чем через задний. Например, при скорости около 90 километров в час сквозь охладитель площадью 0,1 квадратный метр потенциально может пройти 150 м<sup>3</sup>/мин охлаждающего воздуха. Конечно это тот слу-



чай, когда больше значит лучше, но не настолько лучше, чтобы бежать за огромным передним радиатором.

### Распыление воды на промежуточный охладитель

Распыление воды на ядро интеркулера воздух/воздух, является методом повышения его термического КПД. Предварительное испытание такого механизма показало небольшое увеличение на 5 - 10 %. Конструкцию и использование любой системы охлаждения, основанной на расходе жидкости, лучшие рассматривать только для специальных мероприятий.

### Впрыск воды

Распылитель воды - не очень интересное устройство. Оно не имеет места в хорошо спроектированной системе турбонаддува. В двух обстоятельствах это устройство жизнеспособно: турбонагнетатель домашнего изготовления с протяжкой воздуха через карбюратор, или нагнетатель Рутса, установленный между огромным двигателем и двумя еще более огромными карбюраторами. Увеличение запаса прочности двигателя с турбонагнетателем при помощи, по существу, ненадежного устройства - это идея, чье время давно прошло. Пусть покоится с миром.

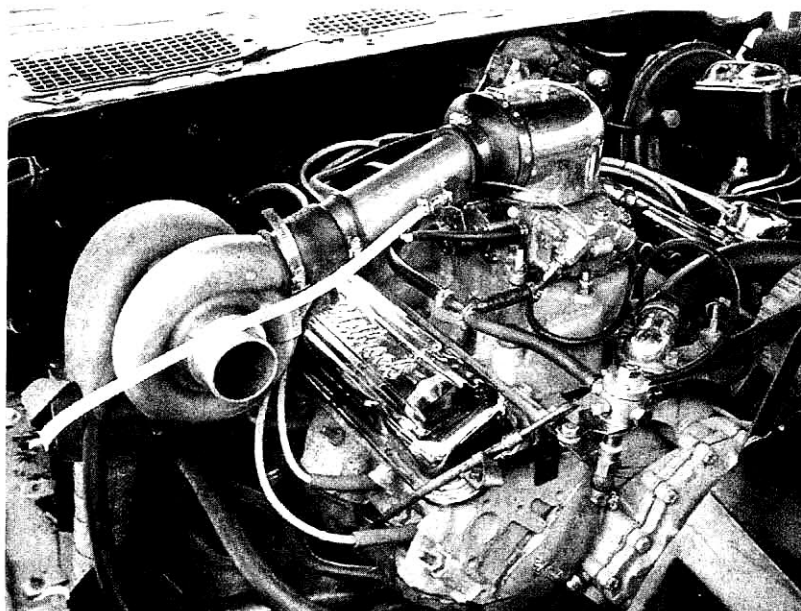


Рис. 5-32. В этой карбюраторной системе турбонаддува, смонтированной на двигателе Pontiac V8, установлен впрыск воды. Вода подается по белой трубке к форсунке и распыляется на входе в карбюратор. Это вынужденная мера, так как в системе отсутствует интеркулер.

*Впрыск воды на автомобиле с турбонагнетателем - неоправданная «скорая помощь» для неправильно выполненной на первых этапах работы.*

### Одноразовый промежуточный охладитель

Специализированные события, такие как дрег-рейсинг или разгон на максимальную скорость, представляют особый интерес для использования одноразового суперэффективного промежуточного охладителя. В то время как он является непрактичным для повседневного

использования, промежуточный охладитель, хорошо работающий с эффективностью более 100 %, легко может быть создан и использован при короткой продолжительности работы с высоким давлением наддува. Принцип действия промежуточного охладителя с эффективностью более 100 % состоит в том, чтобы обеспечить охлаждающую среду для ядра теплообменника, которая имеет температуру или ниже температуры окружающей среды или может поглощать огромные количества теплоты в процессе испарения при контакте с ядром. Примером такой охлаждающей среды является омываемый водой теплообменник, наполненный льдом, или теплообменник с распылением жидкого азота. Независимо от используемой охлаждающей среды, она должна постоянно двигаться, чтобы избежать формирования пограничного слоя. Стационарный пограничный слой удерживает тепло и сильно снижает теплообмен между ядром и средой охлаждения. Не поддавайтесь восторженным мыслям о том, насколько хорош промежуточный охладитель с эффективностью более 100 % и не упустите не менее важную сторону конструкции интеркулера – потери давления в ядре.

### Итоги главы

*Что такое промежуточный охладитель, и почему он настолько важен?*

Промежуточный охладитель это теплообменник (радиатор), помещенный на выходе компрессора турбонагнетателя. Его цель – понизить температуру сжатого воздуха, выходящего из турбонагнетателя, увеличить плотность воздуха и следовательно – обеспечить более высокое давление наддува.

Понижение температуры воздуха имеет два основных плюса: оно увеличивает мощность, и предотвращает детонацию на значительно более высоких давлениях наддува. Охлаждение нагнетаемого воздуха делает его более плотным – т.е., большее количество молекул в кубическом сантиметре. Увеличение плотности составляет около 10 – 15 %, в зависимости от уровня наддува и эффективности охладителя. Мощность увеличивается пропорционально плотности. Это, конечно, полезное увеличение мощности, но это не все, что мы имеем. Увеличение зоны, безопасной от детонации, настолько велико, из-за понижения температуры, что часть этой увеличенной зоны может использоваться, чтобы повысить уровень наддува. При использовании хорошего промежуточного охладителя граница детонации может быть отодвинута на 0,25 – 0,3 бара наддува (конечно при обеспечении правильного соотношения воздух/топливо). Давление наддува может и должно тогда быть поднято на 0,2 – 0,25 бара. Улучшение характеристик в результате этих дополнительных 0,2 – 0,25 интеркуллерных бара приблизительно то же самое как характеристика, обеспечиваемая первыми 0,35 – 0,4 бара наддува.

Однако, здесь могут быть ловушки. Во-первых, теперь модно предлагать интеркуллер как замену правильному соотношению воздух/топливо. Он не может заменить его. Правильное соотношение воздух/топливо обязательно. Если вы выбираете одно или другое, Вы должны выбрать правильное соотношение воздух/топливо. И то и другое – гораздо лучше.

Во-вторых, слишком большие потери давления в промежуточном охладителе могут увеличить давление в выпускном коллекторе на-

столько, что фактически могут свести на нет все увеличение мощности, обеспечиваемое промежуточным охладителем. Промежуточный охладитель с нулевым сопротивлением идеален, подберитесь к нему так близко, насколько это возможно. Знайте то, что Вы покупаете. Узнайте падение давления при расходе воздуха в 1,5 раза больше, чем у вашего двигателя. Оно должно быть менее 0,15 бара. Немногие будут удовлетворять этому требованию, включая и штатные интеркулеры.

*Какого типа бывают промежуточные охладители?*

Имеются два основных типа промежуточных охладителей: "воздух/воздух" и "воздух/жидкость". Каждый из них имеет преимущества, и каждый имеет свои недостатки. Интеркулер "воздух/воздух" является самым простым. Он не имеет никаких подвижных частей и столь же прост как кирпич.

Его способность охлаждать нагнетаемый воздух вполне удовлетворительна, но потери давления могут быть высоки, особенно с, обычно используемыми, небольшими ядрами. Данная потеря давления в промежуточном охладителе обнаружится как увеличение вдвое противодавления в выхлопном коллекторе – извечного врага турбокомпрессора. В целом, хороший узел выбирается для адекватного отвода тепла и минимальной потери давления.



*Рис. 5-33. Даже на старый Ягуар XJ12 можно установить промежуточный охладитель, но не загордите весь воздушный поток к системе охлаждения.*

Агрегаты "воздух/жидкость" немного сложнее, но прекрасно выполняют свою работу. Такая система состоит из двух радиаторов, один между турбонагнетателем и двигателем и меньший перед стандартным радиатором системы охлаждения. Жидкость прокачивается электрическим насосом.

Решения, на основе которых выбирается тот или иной вариант должны быть основаны на двигателе, доступном пространстве, датчиках расхода воздуха системы впрыска топлива и разнообразных других факторах. Пример каждого выбора: очевидный выбор для 6-цилиндрового BMW – жидкостный интеркулер, так как отсутствует пространство для соответствующего ядра воздух/воздух. Дальнейшая сложность в установке интеркулера воздух/воздух в BMW – полное отсутствие высокоскоростного потока воздуха в единственном месте, где можно уста-

новить только небольшое ядро. С другой стороны, Форд Mustang GT предлагает во всех отношениях идеальное место для интеркулера воздух/воздух. Существует пространство для достаточно большого интеркулера воздух/воздух (целых три ядра), и к нему легко можно подать огромное количество охлаждающего воздуха.

*Что такое впрыск воды, и когда он необходим?*

Впрыск воды – распыление потока  $H_2O$  в систему впуска. Теплота, поглощенная при парообразовании воды дает сильный эффект охлаждения для горячего сжатого воздуха, выходящего из турбонагнетателя. Понижение температуры воздуха на впуске снижает тенденцию к детонации.

Не будьте слишком поспешны, чтобы создать защиту от детонации, основанную на таком устройстве. Впрыск воды лучше использовать, когда желателен уровень наддува более 0,4 бара, но в системе отсутствует промежуточный охладитель. Не допускайте использования впрыска воды как оправдания за несоответствующее соотношение воздух/топливо. Рассмотрев все вышесказанное, Вы должны быть далеки от идеи использовать впрыск воды.

## Впускной коллектор

Направление воздушного потока в головку блока цилиндров – задача впускного коллектора. Управление количеством воздуха – функция дроссельной заслонки.

В двигателе, оснащённом системой впрыска топлива, топливовоздушная смесь обычно проходит по короткой части впускного коллектора, в то время как в карбюраторном двигателе топливовоздушная смесь проходит через весь коллектор. Эти особенности обуславливают различия в конструкции впускных коллекторов.

### Коллектор для системы впрыска топлива

Общая компоновка коллектора для системы впрыска топлива будет определяться назначением двигателя. На спортивном двигателе, скорее всего, будет применяться компоновка с одной дроссельной за-

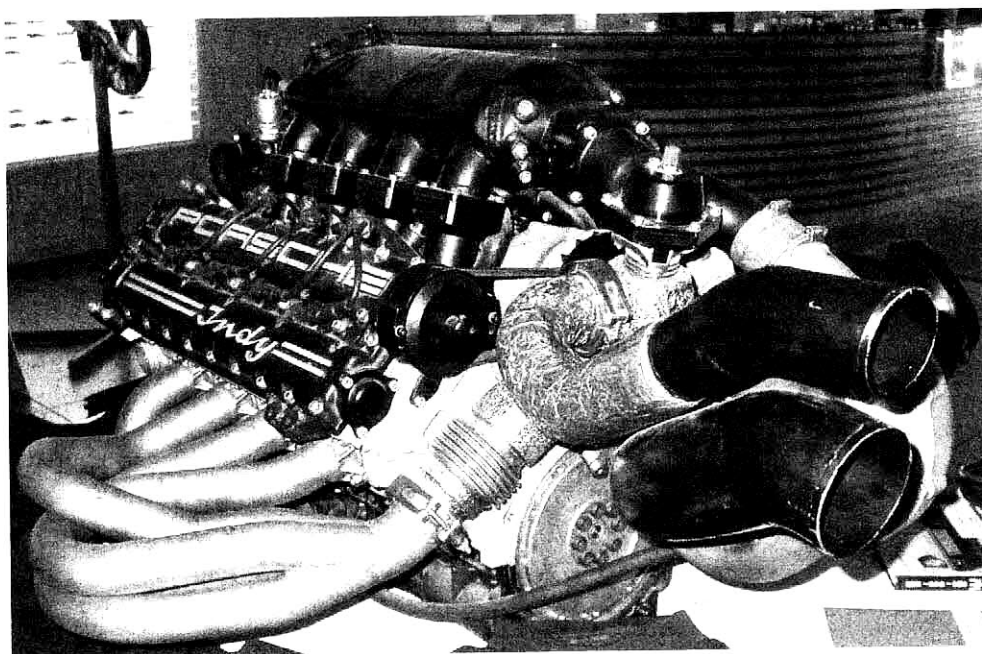
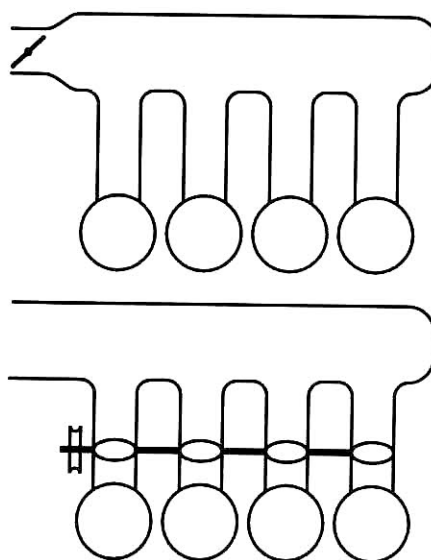


Рис. 6-1. Двигатель Porsche V-8 для автомобилей Indy демонстрирует каким должен быть высокоэффективный впускной коллектор.

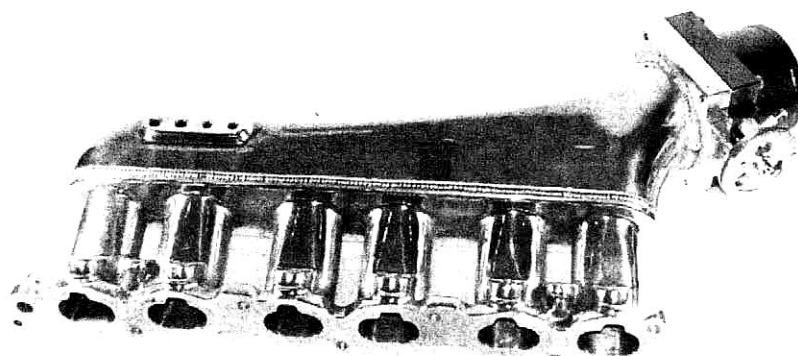
слонкой на цилиндр. Как правило, коллектор для дорожного автомобиля будет иметь только одну дроссельную заслонку или один многопластинчатый корпус дроссельной заслонки с прогрессивной характеристикой, установленный на ресивере, соединяющем все цилиндры. Компоновка "одна заслонка на цилиндр" дает меньшие потери давления и таким образом больше подходит для максимальной мощности. Однако при наличии одной заслонки (или одного корпуса дроссельной заслонки с прогрессивной характеристикой), во впускном коллекторе создается более четкий сигнал разрежения. Это значительно увеличивает точность, с которой может быть настроено топливо и зажигание на низких оборотах и таким образом такая компоновка лучше подходит для дорожного автомобиля.

Рис. 6-2. Сверху: впускной коллектор последовательного типа с одной дроссельной заслонкой. Внизу: впускной коллектор с индивидуальными дроссельными заслонками.



Синхронизация расхода воздуха между цилиндрами при наличии многодроссельного впускного коллектора - совершенно другая задача.

Рис. 6-3. Впускной коллектор от Jap для двигателя Toyota 2JZ-GTE.





Два различных назначения, тем не менее, имеют много общих особенностей. Оба требуют идеальной формы отверстий для впуска воздуха в рабочие каналы к камерам сгорания. Оба требуют тщательной проработки деталей конструкции, таких как конусность рабочих каналов. Независимо от предназначения двигателя желательно разогнать воздух на пути к камере сгорания. Это делается путем постепенного уменьшения площади сечения рабочего канала по мере его приближения к камере сгорания. Увеличение скорости воздушного потока, в разумных пределах, выгодно, потому что высокая скорость обеспечивает высокую турбулентность топливовоздушной смеси, тем самым, улучшая процесс горения. Также улучшается наполнение камеры сгорания, которое обеспечивает большую мощность.

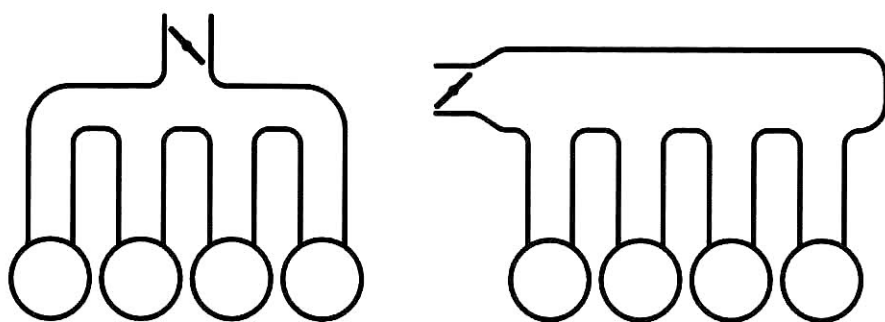


Рис. 6-4. В симметричном впускном коллекторе (слева) вероятность равного распределения потока к каждому цилиндру выше чем в более компактном несимметричном коллекторе.

Длина воздушных каналов значительно влияет на количество воздуха, которое попадает в цилиндр во время цикла впуска, при работе двигателя на режимах без наддува. Из-за сложности этого процесса он лучше изучен отдельно от турбонагнетателя. Здесь достаточно сказать, что двигатели с более высокими рабочими оборотами требуют более коротких впускных патрубков, а двигатели с низкими рабочими оборотами и моментом в среднем диапазоне оборотов требуют более длинных впускных патрубков.

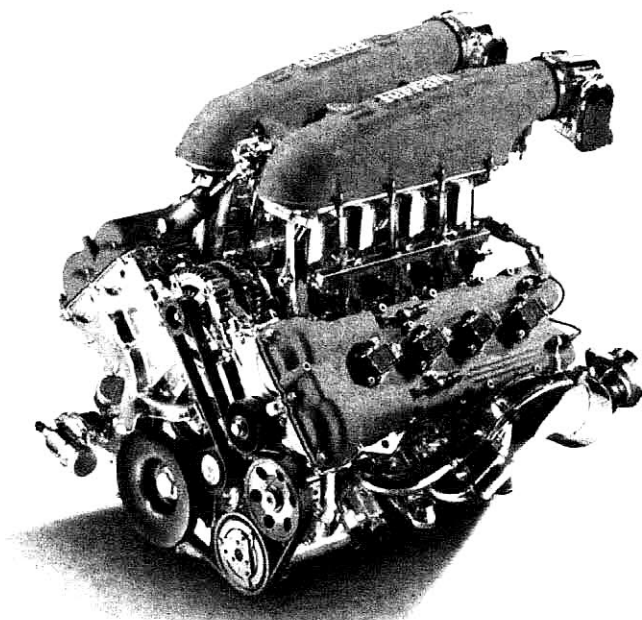
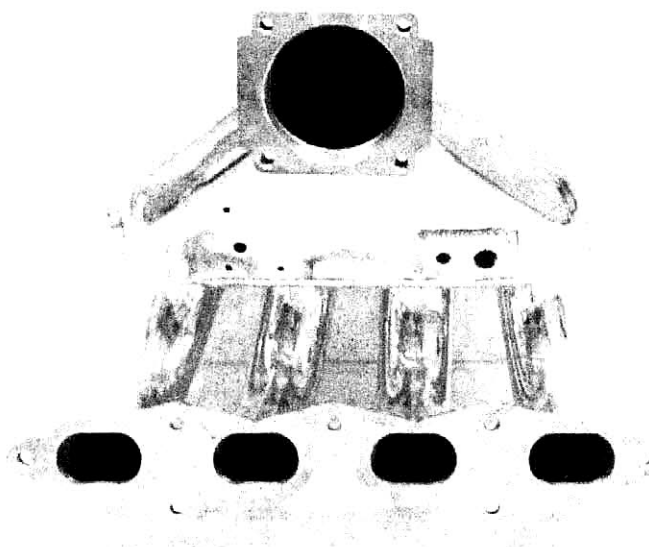


Рис. 6-5. Двигатель Ferrari F430, прекрасный пример несимметричных впускных коллекторов, каждая дроссельная заслонка работает на 4 цилиндра из 8-ми.

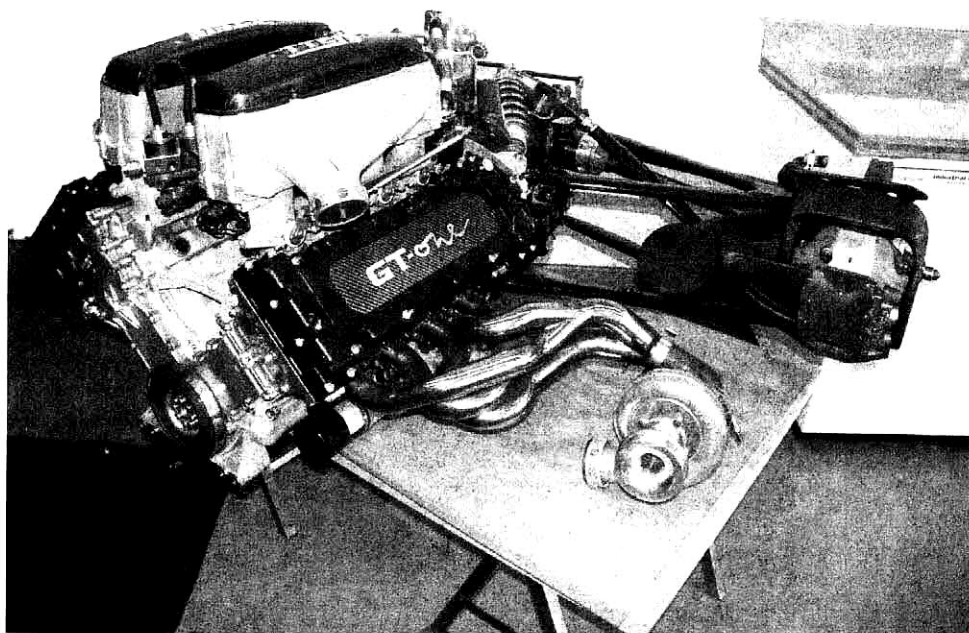
Проекты двигателей с турбонагнетателем будут вообще иметь лучшие характеристики с длинными впускными патрубками, которые обеспечивают плоскую кривую момента на низких оборотах, в то время как турбонагнетатель обеспечивает высокий момент на высоких оборотах. В системах впрыска топлива, где внутри впускных патрубков проходит только воздух, конструкция патрубков может быть любой.

Рис. 6-6. Индивидуальные впускные патрубки от ресивера - полезная деталь конструкции. Пример симметричной конструкции коллектора для Toyota MR2 с двигателем 3S-GTE.



Симметричная компоновка коллектора и патрубков желательна, как для спортивных моторов, так и для уличного использования, по-

Рис. 6-11. На примере этого двигателя Toyota GT-ONE наглядно видны требования к размеру ресивера. Так же можно заметить индивидуальные дроссельные заслонки.



скольку она облегчает равномерное распределение воздуха между цилиндрами.

### Ресивер

Любой коллектор для двигателя с системой впрыска топлива будет иметь ресивер. Объем ресивера должен быть функцией рабочего объема двигателя – в общем случае 50 -70 % от объема двигателя. Одно из важных мест конструкции коллектора – пересечение впускных патрубков и ресивера. Это пересечение должно быть выполнено в форме раструба.

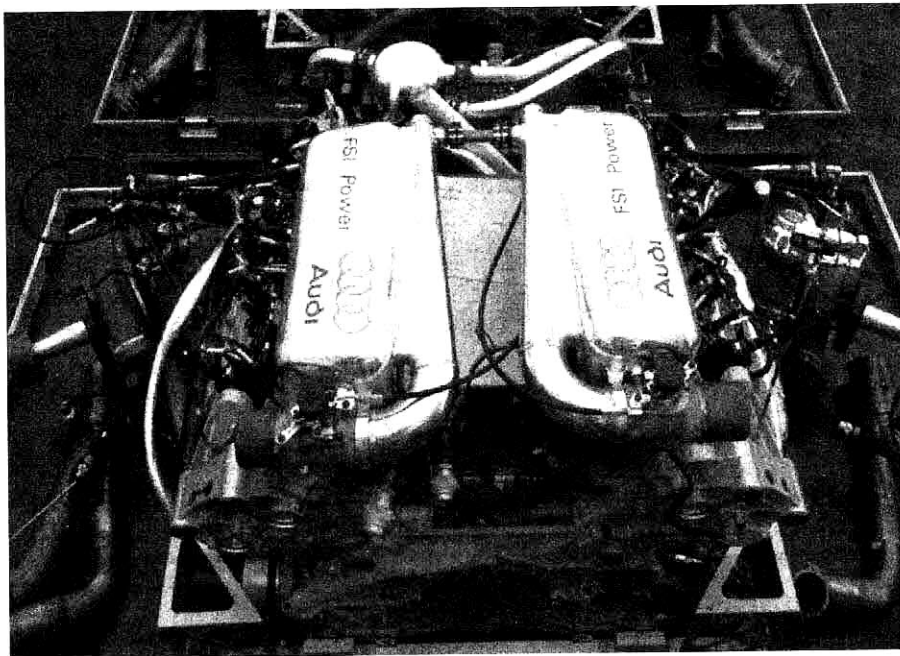


Рис. 6-7. Ориентироваться надо на лучшие образцы техники. Впускной коллектор для двигателя Audi V8 для гонок на выносливость Le Mans.

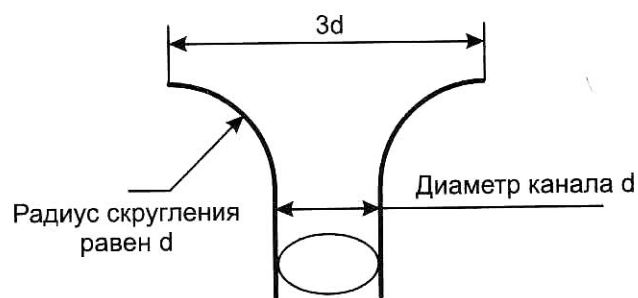


Рис. 6-8. Возможно это - форма идеального отверстия для впуска воздуха.

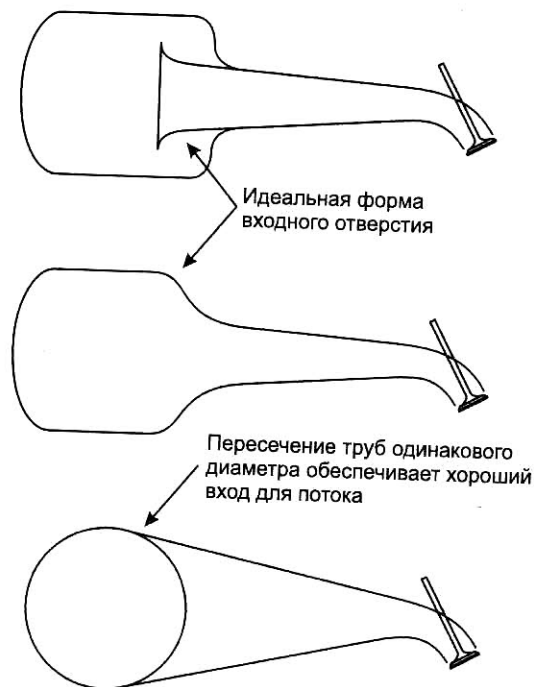
### Расположение форсунок

К расположению форсунок предъявляются два основных требования. Во-первых, они должны быть сориентированы относительно оси воздушного канала, настолько близко к ней, насколько это возможно. Во-вторых, они должны впрыскивать топливо в точке, в которой скорость воздушного потока максимальна.

Некоторые системы могут иметь такой большой расход воздуха или такой широкий диапазон оборотов, что одна форсунка не сможет обеспечить достаточный расход топлива. В таких случаях потребуется, по крайней мере, вторая топливная форсунка, а иногда и третья. На-

правление второй форсунки не столь критично как основной, потому что вторая форсунка не используется, до тех пор, пока система не достигнет режима работы при относительно высоком расходе воздуха. В дорожных двигателях, все же желательно направить вторую форсунку вниз по ходу потока. В гоночных двигателях вторая форсунка иногда направляется против потока. Хотя имеющихся данных недостаточно, такая ориентация может обеспечить немного лучшее распыление, и такой вариант расположения форсунки достоин рассмотрения.

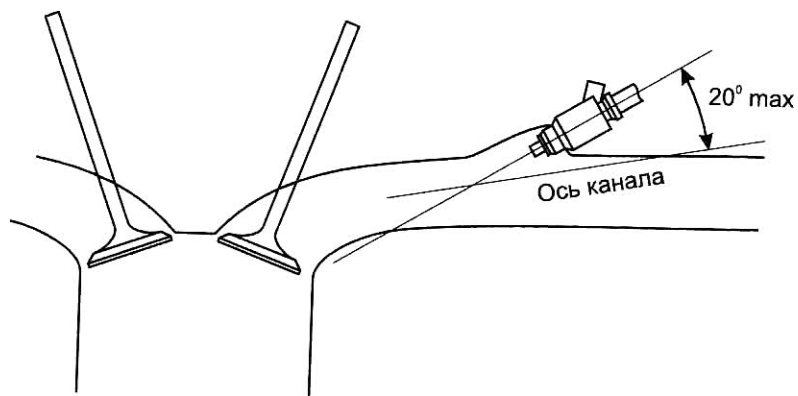
Рис. 6-10. Форма пересечения между ресивером и впускным патрубком должна приблизиться к идеальной форме отверстия для впуска воздуха.



### Корпус дроссельной заслонки

Корпус дроссельной заслонки обычно является одним из узких мест для воздушного потока в системе турбонаддува. Простая установка дроссельной заслонки большего размера облегчит задачу, но результатом может стать ухудшение эластичности двигателя, резкая реакция на изменение положения дросселя. Открытие большой дроссельной заслонки на небольшой угол обеспечивает большой расход воздуха, но при этом приемистость будет низкой и вялой. При максимальной ско-

Рис. 6-12. Ориентация форсунки. Угол направления форсунки относительно впускного отверстия должен быть насколько возможно меньшим, максимум  $20^\circ$ .



рости потока приблизительно 100 м/с потери давления будут приемлемыми. Скорость потока может быть рассчитана

$$\text{Скорость} = \frac{\text{Расход}}{\text{Площадь}}$$

Например:

Допустим расход воздуха составляет 8,415 м<sup>3</sup>/мин и диаметр дроссельной заслонки 50 мм.

Тогда

$$\text{Скорость} = \frac{8,415 \frac{\text{м}^3}{\text{мин}} \times \frac{1 \text{ мин}}{60 \text{ сек}}}{\pi \left(\frac{5}{2}\right)^2 \text{ см}^2 \frac{1 \text{ м}^2}{10000 \text{ см}^2}} = 71,5 \frac{\text{м}}{\text{сек}}$$

Если бы скорость была более 100 м/с, и дроссельная заслонка не имела бы прогрессивного управления, пришлось бы рассматривать корпус дросселя с двумя заслонками и прогрессивной характеристикой.

Для гоночных двигателей, на которых используется одна дроссельная заслонка на цилиндр, для расчета скорости воздуха можно суммировать площади дроссельных заслонок или просто использовать расход воздуха через один цилиндр и площадь одной дроссельной заслонки. Тем не менее, при этих расчетах также нужно ориентироваться на скорость воздуха около 100 м/с.

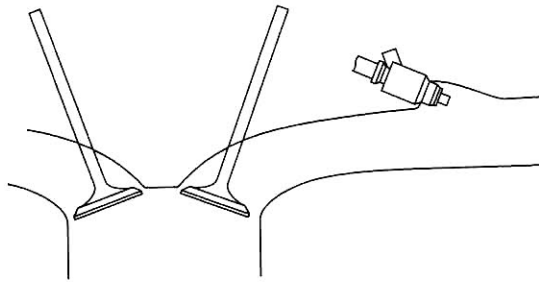


Рис. 6-13. Противоточная форсунка

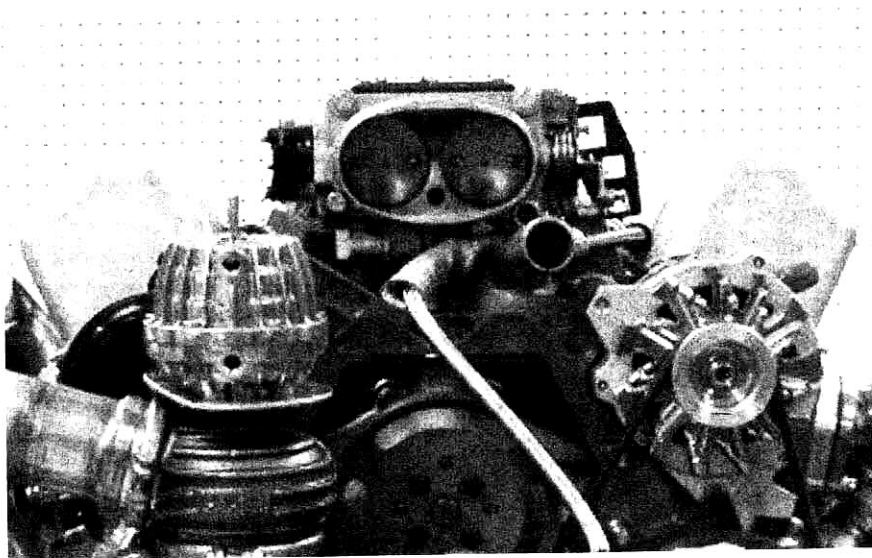


Рис. 6-15. Сдвоенные дроссельные заслонки на двигателе Chevrolet V8.

Такого замечательного узла спортивных двигателей как шибберные дроссельные заслонки вообще следует избегать, потому что давление, умноженное на площадь, обычно создает значительную силу. Специальные подшипники и тяги помогут при реализации шибберных заслонок. Вообще, жизнь значительно проще со старой стандартной поворотной дроссельной заслонкой.

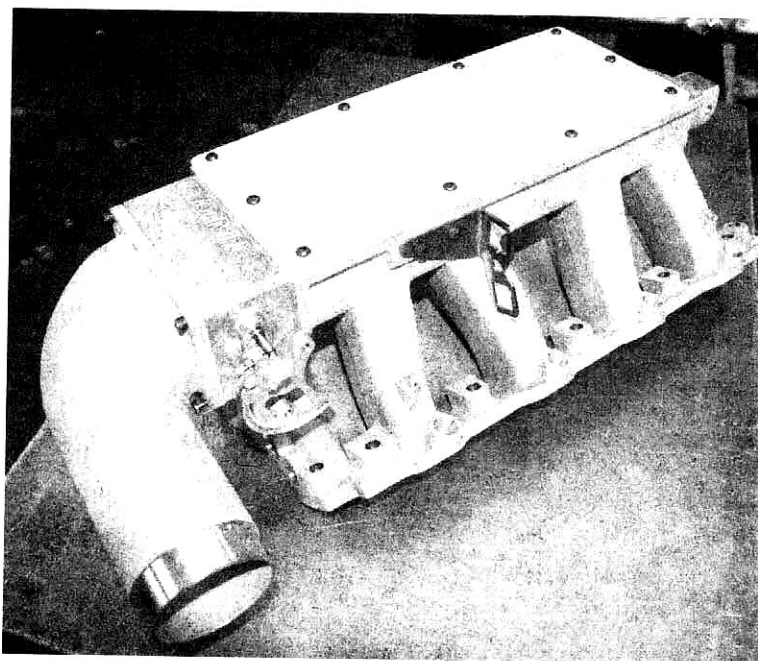
### Дроссельные заслонки с прогрессивной характеристикой

Установка двух- или многодросельного корпуса дроссельной заслонки с прогрессивной характеристикой может быть заманчивой. Но применение таких узлов нуждается в осторожном подходе, так как они не всегда так хороши, как это может показаться. Лучшее место, для установки дроссельной заслонки с прогрессивной характеристикой – большие двигатели, которые хорошо разгоняются на низких оборотах при небольшом открытии дроссельной заслонки. Старайтесь избегать дросселей с прогрессивной характеристикой на небольших двигателях, которые требуют большого открытия дроссельной заслонки только для того, чтобы автомобиль мог передвигаться.

### Коллектор для карбюраторного двигателя

Хотя такие конструкции и находятся в серьезном упадке, тем не менее, будет смонтирована еще не одна система турбонаддува с карбюраторами. Сегодня выпускается такое огромное число впускных коллекторов, что выбор лучшего варианта сводится к внимательному рассмотрению имеющихся на рынке конструкций. Коллекторы, имеющие один канал на цилиндр обеспечивают лучшие характеристики. Они, как правило, будут обеспечивать лучшую управляемость и реакцию двигателя на низких оборотах.

*Рис. 6-17. Впускной коллектор для двигателя Holden V8. Обратите внимание на корпус дроссельной заслонки. Для обеспечения требуемой пропускной способности применены две дроссельные заслонки.*





---

Такие коллекторы, конечно, применяются в компоновке с продавливанием воздуха. Обсуждение коллекторов или ресиверов для компоновки с продавливанием воздуха через карбюратор было бы почти таким же, как обсуждение коллекторов и ресиверов для системы впрыска топлива. Следуйте тем же самым правилам, и Вы будете на правильном пути.

### Итоги главы

*Турбонагнетатель будет работать со штатным карбюратором или штатной системой впрыска топлива?*

- со штатным карбюратором – нет
- со штатная система впрыска топлива – нет, не всегда

Никакая система впрыска топлива, используемая сегодня не обеспечит автоматически количество топлива, необходимое для возросшего расхода воздуха, созданного турбонагнетателем. Однако штатная система электронного впрыска топлива хорошо работает на режимах без наддува, поэтому желательно сохранить систему и оставить ее максимально штатной, для простоты ремонта.

*Что представляет собой хороший впускной коллектор?*

Прежде всего – спрямленный путь для воздуха, плавные изгибы, и теплоизоляция. Также важны симметрия и длина каналов.

---

## Система впрыска топлива

Процесс распыления топлива в воздушный поток чрезвычайно важен для работы двигателя внутреннего сгорания. Если какой-либо пункт характеристики двигателя может быть назван "наиболее важный", то управление топливоподачей – самый первый кандидат на это. Электронная система впрыска топлива, в частности, выполняет эту задачу лучше, чем любой другой вид системы впрыска топлива или какое-либо топливосмешивающее устройство. Принципы работы, применение и модификация EFI будут предметом дальнейшего обсуждения. Ни CIS (continuous injection system, система непрерывного впрыска), тип системы впрыска топлива, использующей пневматическое и гидравлическое управление, ни другие архаичные системы впрыска топлива не обсуждаются в этой книге. Электронная система впрыска топлива полностью доказала свое превосходство от экономичных городских автомобилей до автомобилей WRC и Формулы 1. Прошло много времени, с тех пор как автомобили-победители больших дорожных гонок были оборудованы топливной системой отличной от EFI. Конечно, теперь любой серьезный проект системы турбонаддува будет оборудован системой электронного впрыска топлива. Никакие другие системы не могут сравниться здесь с системой электронного впрыска топлива. Начните с лучшего из того, что имеется, и Вы не увязнете со своим проектом и не будете загнаны в угол.

### Принципы работы системы электронного впрыска топлива.

Система электронного впрыска топлива (EFI) представляет собой совокупность управляемых топливных клапанов, открываемых электрическим сигналом, и обеспечивающих подачу топлива в двигатель. Соотношение воздух/топливо определяется временем, в течении которого форсунки остаются открытыми во время рабочего цикла. Это время называется длительностью импульса. Компьютер EFI собирает данные с группы датчиков, которые сообщают ему, на каких оборотах работает двигатель и нагрузку на него в данный момент. Имея эти дан-

ные, компьютер начинает просматривать находящуюся в его памяти информацию, чтобы определить, как долго он должен держать форсунки открытыми, чтобы обеспечить топливные требования, продиктованные этими условиями. Когда эта информация найдена, она извлекается из памяти и передается к форсункам как импульс напряжения определенной длительности. Длительность импульса измеряется в тысячных долях секунды, или в миллисекундах (мс). Когда этот цикл закончен, программа компьютера сообщает ему, об этом, и он продолжает выполнять его снова и снова, при этом компьютер всегда готов получить новые исходные данные. Все это – получение данных, анализ, и преобразование занимают приблизительно 15 % мощности компьютера. Оставшаяся часть времени это простой процессора. Жаль, что вы не можете получить денежную компенсацию за время бездействия процессора. Датчики, на которые компьютер полагается, чтобы получать информацию – неотъемлемая часть EFI и являются глазам и ушам системы:

**Датчик массового расхода воздуха/датчик расхода воздуха.** Система впрыска, работающая с датчиком массового расхода воздуха или датчиком расхода воздуха, названа системой впрыска "с массовым расходом". Чувствительный элемент измеряет число молекул воздуха, попадающих в систему в любой момент времени. Если это число разделить на обороты двигателя, это даст точное значение количества топлива, необходимого для одного рабочего цикла в двигателе.

**Датчик температуры воздуха.** Плотность воздуха изменяется как функция температуры. Поэтому, компьютер должен знать, что необходимо изменить длительность импульса, если датчик температуры воздуха обнаруживает изменение температуры воздуха.

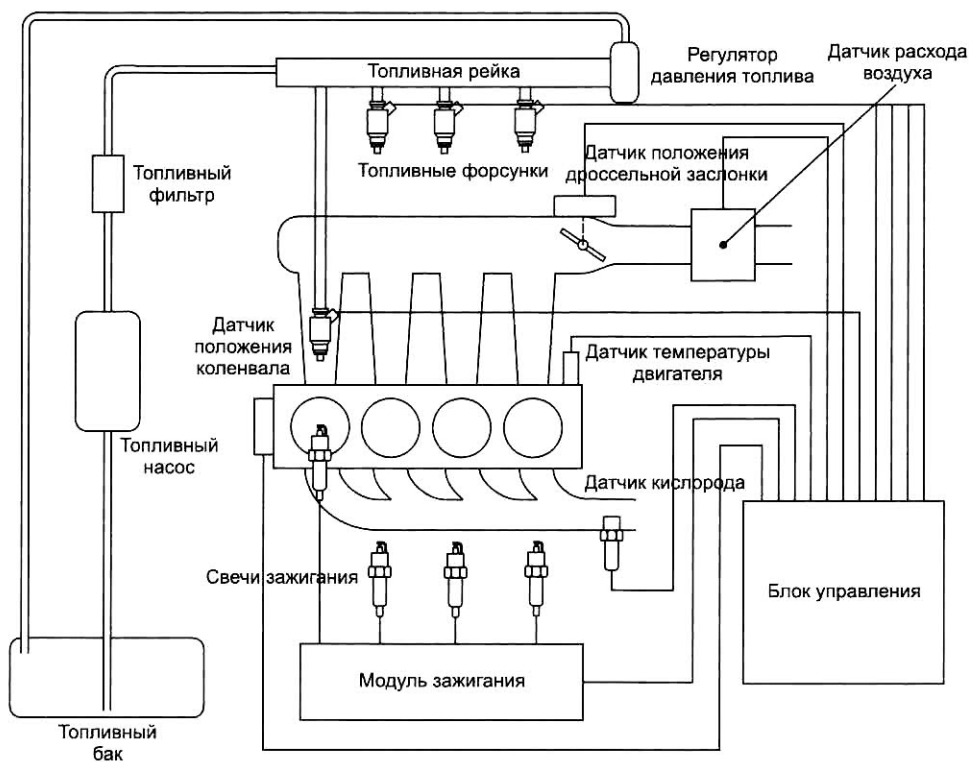


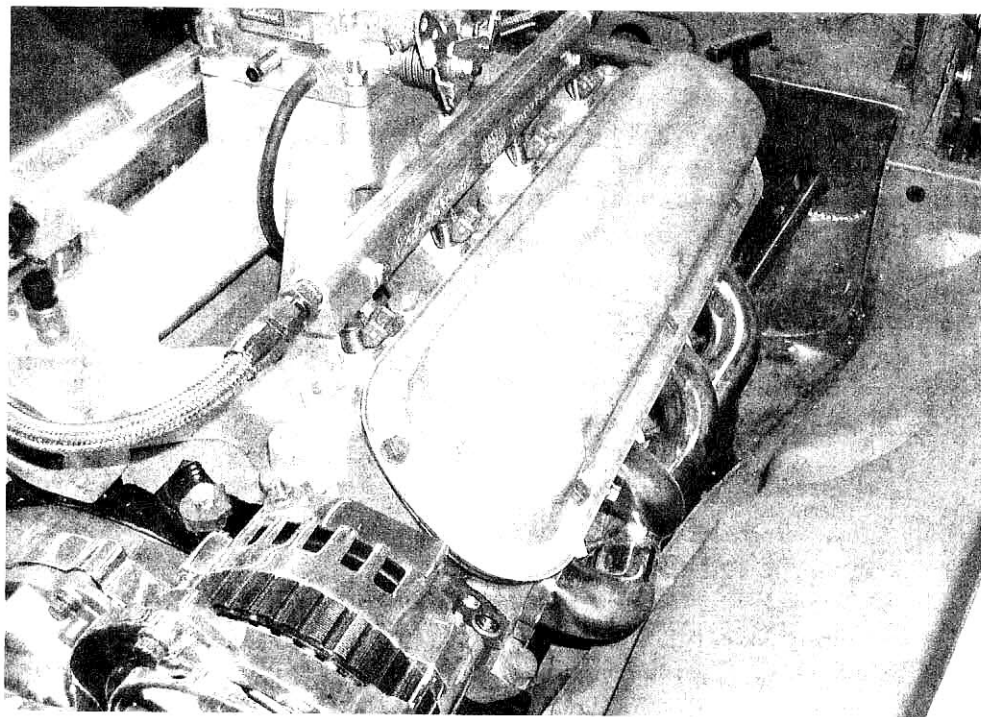
Рис. 7-1. Современная система управления двигателем.

**Барометрический датчик.** Плотность воздуха также изменяется с высотой. Датчик атмосферного давления сообщает компьютеру об изменении высоты.

**Датчик температуры охлаждающей жидкости.** Количество топлива, требуемое двигателю, обратно пропорционально температуре двигателя. Датчик температуры охлаждающей жидкости отражает рабочую температуру двигателя. Холодному двигателю требуется большее количество топлива для того, чтобы получить достаточно паров топлива для воспламенения. Чем более нагрет двигатель, тем легче паробразование, и меньше количество требуемого топлива.

**Датчик давления во впускном коллекторе.** Не все системы EFI оборудованы датчиком давления во впускном коллекторе. Те, в которых он присутствует, называются системами EFI, работающими на принципе "плотность/скорость". Когда используется датчик давления во впускном коллекторе, датчик массового расхода воздуха или датчик расхода воздуха становится не нужен. Давление во впускном коллекторе в любой данный момент достаточно точно отражает нагрузку на двигатель. Следовательно, датчик давления во впускном коллекторе сообщает компьютеру данные о текущем эксплуатационном режиме.

Рис. 7-2. Система электронного впрыска топлива, установленная на бывший карбюраторный двигатель Ford V8.



**Датчик кислорода.** Датчик кислорода измеряет количество остаточного кислорода в выхлопных газах после процесса горения. Он установлен в выпускном коллекторе и таким образом становится для компьютера «сторожевым псом» фактического качества смеси. Если датчик обнаруживает слишком большое количество кислорода, компьютер, на основе информации в его памяти, будет немного увеличивать длительность импульсов впрыска, таким образом, добавляя топливо и используя избыточный кислород. Контролируя оставшийся кислород, компьютер может непрерывно поддерживать необходимую длительность импульсов, для обеспечения запрограммированного соотноше-

ния воздух/топливо. В жизни датчик кислорода нужен для поддержания соотношения воздух/топливо в рамках, необходимых для работы трехкомпонентного катализатора. Это не устройство для экономии топлива или обеспечения мощности.

**Датчик частоты вращения.** Импульсы впрыска каждый рабочий цикл должны, конечно, всегда соответствовать частоте вращения двигателя. Датчик оборотов двигателя обеспечивает это, контролируя низковольтные импульсы на катушке зажигания.

**Датчик положения распределительного вала.** В системе последовательного впрыска датчик положения распределительного вала сообщает блоку управления, в каком порядке работают цилиндры двигателя. По сигналам этого датчика блок управления определяет, в каком порядке осуществлять впрыск.

**Датчик положения дроссельной заслонки.** Полезная мощность двигателя в значительной степени зависит от положения дроссельной заслонки. Полностью открытая дроссельная заслонка, очевидно, говорит о том, что от двигателя требуется все, на что он способен, и расход топлива должен, в этом случае, быть увеличен. Поэтому, положение дроссельной заслонки является для компьютера важным параметром. Еще один тип данных, которые дает датчик положения дроссельной заслонки – скорость изменения положения дроссельной заслонки. Эта функция становится эквивалентом ускорительного насоса в карбюраторе. Ускорительный насос обеспечивает быстрое обогащение смеси, при быстром открытии дроссельной заслонки.

**Дополнительные компоненты системы EFI** – топливный насос, регулятор давления, топливопроводы, пневмоклапаны, регулятор холостых оборотов и различные реле.

### Последовательный впрыск топлива и длительность импульса

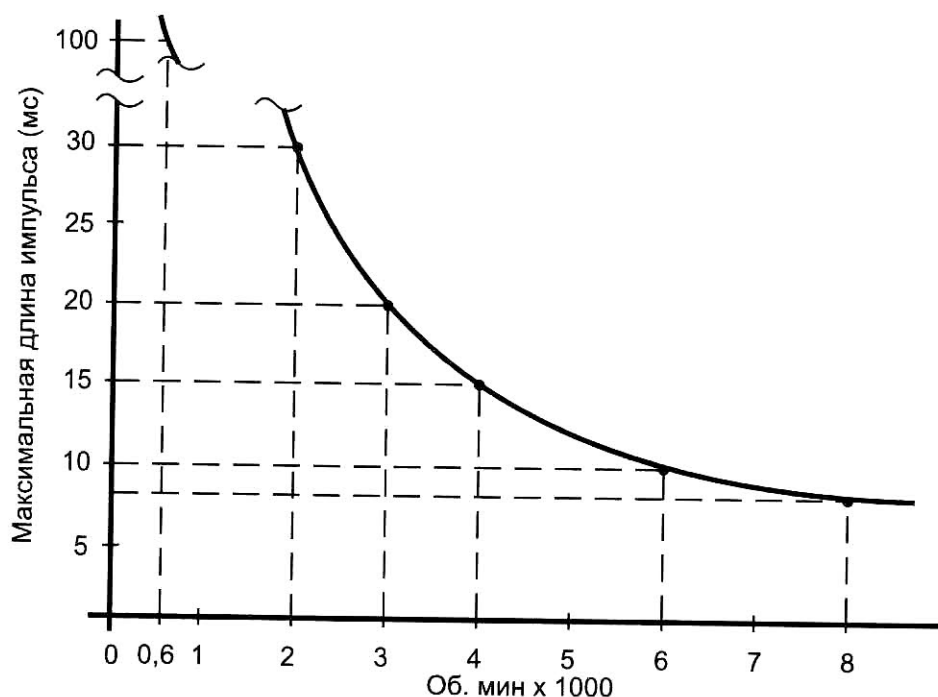
Хорошее знание работы EFI должно включать понимание того, как размеры форсунок изменяются при различных требованиях и размерах цилиндров, отдаваемой мощности, и рабочего диапазона давления во впускном коллекторе. Сначала необходимо понять внутреннюю природу впрыска и располагаемого времени, в течение которого он должен работать. Располагаемое время впрыска ограничено временем одного полного цикла двигателя. В четырехтактном двигателе, располагаемое для впрыска время – это время, требуемое для совершения двух оборотов двигателя. При увеличении частоты вращения двигателя, располагаемое время впрыска уменьшается. Таким образом, впрыск по существу занимает все большую и большую часть располагаемого времени при увеличении частоты вращения двигателя. В конечном счете, достигается точка, в которой время цикла двигателя является равным времени, за которое форсунка должна впрыснуть заданное количество топлива. Эта точка – точка 100 % рабочего цикла.

Имеются два типа систем EFI: последовательный и непоследовательный. При последовательном впрыске, который является наиболее распространенным, импульсы на форсунки подаются в том же порядке, в котором работают цилиндры двигателя. Таким образом, при последовательном впрыске, импульсы подаются на каждую форсунку через оборот, то есть один раз за рабочий цикл. При непоследовательном

впрыске обычно импульсы подаются на все форсунки одновременно при каждом обороте.

Полезная особенность последовательного впрыска – способность точно управлять моментом впрыска относительно момента открытия впускного клапана.

Рис. 7-3. Максимальная длительность импульса системы впрыска топлива, располагаемая за оборот, функция от оборотов двигателя в минуту.



Две удобных для запоминания точки – 600 оборотов в минуту и 6000 оборотов в минуту. На этих частотах вращения оборот длится 100 мс и 10 мс, соответственно, или 200 мс и 20 мс – полный рабочий цикл. Важно понимать, что 20 мс это общее располагаемое время для двух импульсов при непоследовательном впрыске или для одного импульса при последовательном впрыске. Главная мысль всего этого рассуждения состоит в том, что форсунка должна быть достаточно большой, чтобы подать все топливо, требуемое цилиндру за 20 мс при частоте вращения двигателя 6000 оборотов в минуту (или даже меньше, если частота вращения двигателя выше).

### Изменение штатной системы впрыска топлива

При использовании системы турбонаддува с низким давлением (до 0,5 бара), установленной на атмосферный двигатель, достаточная топливоподача может быть получена путем изменения штатной системы впрыска. Основное требование остается прежним – топливо подается через форсунку в требуемом для данных условий количестве. Увеличение расхода топлива через систему впрыска ограничено одним из трех вариантов:

- длительности импульса
- увеличение размера форсунки
- увеличение давления топлива



### Увеличение длительности импульса впрыска.

Перед любой попыткой увеличить расход топлива путем увеличения длительности импульса, необходимо определить время оборота двигателя на максимальных оборотах (оборотах максимальной мощности) и максимальную продолжительность импульса форсунки. Это позволит нам понять, располагаем ли мы дополнительным временем для увеличения длительности импульса. Длительность импульса форсунки может быть определена измерителем длительности импульса или осциллографом. Это измерение должно быть произведено на автомобиле, при полностью открытой дроссельной заслонке, на оборотах максимального момента, которые составляют приблизительно две третьих максимальных оборотов двигателя.

При увеличении оборотов более 3000 оборотов в минуту, когда форсунки с каждым оборотом открываются на более длительное время, последовательная система впрыска превращается в непоследовательную. Поэтому различие между этими двумя типами систем может игнорироваться при вычислении дополнительного количества топлива, пока длительность импульса не будет проверена на оборотах более чем 4000 оборотов в минуту. Тогда возможно проанализировать располагаемое увеличение длины импульса на основании длительности одного импульса за оборот.

Время, требуемое для одного оборота на максимальной частоте вращения, определяет, имеем ли мы время для увеличения длительности импульсов EFI. Оно может быть получено графика на рис. 7-3 или путем расчетов:

$$\text{Длительность одного оборота} = \frac{60 \frac{\text{сек}}{\text{мин}}}{\text{Частота вращения}}$$

Пример:

Допустим максимальные обороты = 5000.

Тогда

$$\text{Длительность одного оборота} = \frac{60 \frac{\text{сек}}{\text{мин}}}{5000 \text{ мин}^{-1}} = 0,0109 \text{ сек} = 10,9 \text{ мс}$$

Как только время одного оборота на максимальной частоте вращения известно, и длительность импульса на максимальной частоте вращения была измерена, может быть рассчитано располагаемое увеличение. В миллисекундах,

$$\text{Возможное увеличение} = \text{Длительность одного оборота} - \text{Длительность импульса}$$

Или в процентах,

$$\text{Возможное увеличение} = \frac{\text{Длительность одного оборота}}{\text{Длительность импульса}} - 1$$

Пример 1:

Допустим максимальные обороты = 5000 и длительность импульса на максимальных оборотах = 6,2 мс.

Тогда

$$\text{Располагаемое увеличение} = 10,9 \text{ мс} - 6,2 \text{ мс} = 4,7 \text{ мс}$$

Или в процентах,

$$\text{Возможное увеличение} = \frac{10,9 \text{ мс}}{6,2 \text{ мс}} - 1 = 0,758 \text{ или } 75,8 \%$$

Пример 2:

Допустим максимальные обороты = 7500 и длительность импульса на максимальных оборотах = 8,0 мс.

$$\text{Длительность одного оборота} = \frac{60 \frac{\text{сек}}{\text{мин}}}{7500 \text{ мин}^{-1}} = 0,08 \text{ сек} = 8 \text{ мс}$$

$$\text{Располагаемое увеличение} = 8,0 \text{ мс} - 8,0 \text{ мс} = 0 \text{ мс}$$

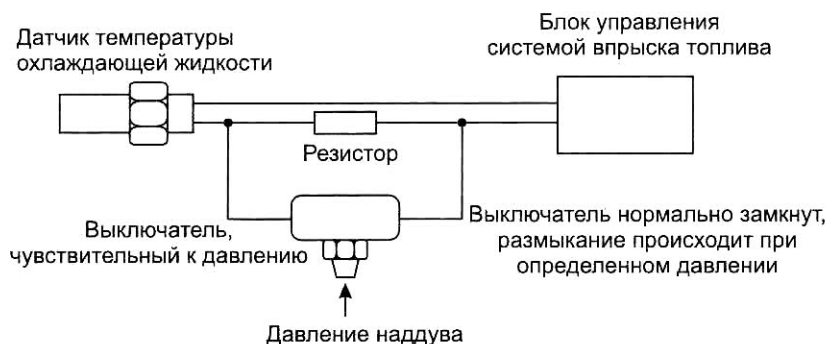
В этом примере длительностью импульса на максимальных оборотах является все располагаемое время на максимальных оборотах; поэтому мы не располагаем каким либо возможным увеличением.

Если расчеты показывают, что возможно увеличение длительности импульса, то могут быть рассмотрены методы для реализации этого:

#### Изменение сигнала датчика.

Длительность импульса может быть увеличена, путем увеличения сопротивления в цепи датчика температуры охлаждающей жидкости. Величина сопротивления определяется опытным путем. Сопротивление должно быть увеличено только в момент наличия давления наддува. Это требует разного рода потенциометров и выключателей, и всегда будет давать меньше толку, чем ожидается.

Рис. 7-4. Система управления, основанная на изменении сигнала температуры ОЖ. Замечание: это неработоспособная система управления.



#### Перепрограммирование блока управления.

Существует слишком много проблем, чтобы ожидать, что перепрограммирование блока управления можно предложить как способ обеспечения дополнительного количества топлива. Этот метод сложен для реализации в системе с расходомером воздуха. Этот метод не будет работать в системе «плотность/скорость», если датчик давления не предназначен для работы с давлением выше атмосферного. Специалист со знаниями для декодирования программы управления и оборудованием для перепрограммирования блока управления может сделать такую работу. Такие специалисты довольно редки. В общем, это слож-

ная задача для реализации. Но в последнее время появилось достаточно много технических решений для перепрограммирования тем или иным образом блоков управления различных производителей.

### Перехват сигнала.

В настоящее время, стал доступен способ увеличения длительности импульса форсунки путем его перехвата, модификация, основанной на величине давления в коллекторе, и передачи результата на форсунку вместо первоначального импульса. Для обеспечения успеха при таком подходе требуются хорошая технология и большое количество опыта. Устройства для реализации такого метода в настоящее время представлены несколькими производителями. Широкое распространение получили такие субкомпьютеры Greddy E-manage, Greddy E-manage Ultimate, HKS F-CON.



Рис. 7-5. Субкомпьютер HKS разработан, чтобы использовать заводской автомобильный турбонагнетатель при давлениях наддува выше штатных.

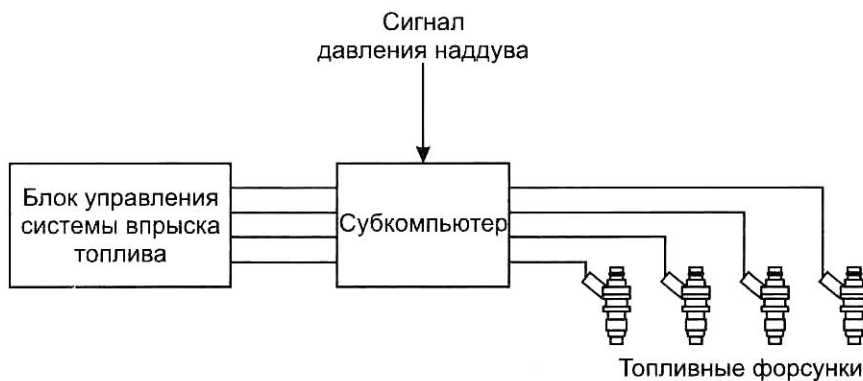


Рис. 7-6. Управляющий субкомпьютер F-CON изменяет сигнал штатной системы EFI, основываясь на величине сигнала давления наддува.

### Увеличение размера форсунки.

Изменение размера форсунки станет причиной того, что при отсутствии других изменений, система впрыска будет подавать большее количество топлива все время при любых условиях.

Это неприемлемо. Таким образом, необходим способ возвращения расхода топлива к его первоначальному уровню на низких оборотах. Возможно делать это или изменяя сигнал расходомера воздуха или увеличивая усилие возвратной пружины заслонки расходомера. Последнее производится внутри расходомера и достаточно просто для реализации. Форсунки с производительностью до 50 % большей обычно

могут настраиваться на нормальную работу на низких оборотах любым методом.

Увеличение давления топлива или добавление форсунок приемлемо только до давления наддува приблизительно 0,6 – 0,7 бар, после которого установка форсунок большей производительности становится необходимостью. Хотя штатные блоки управления сложны для перепрограммирования, изделия сторонних производителей, которые поставляются с программным обеспечением и инструкциями будут большой подмогой в этом деле.

При применении таких систем, увеличение размера форсунки становится наиболее мощным методом подачи дополнительного топлива. Когда планируется давление наддува, превышающее 0,6 – 0,7 бар, замена форсунок становится необходимостью.

Рис. 7-7. Регулятор с повышающей характеристикой, установленный в топливной системе

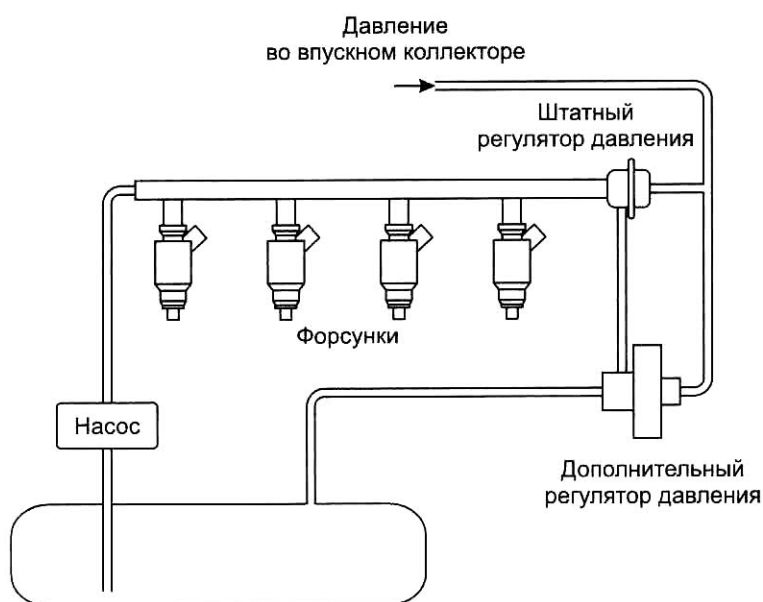
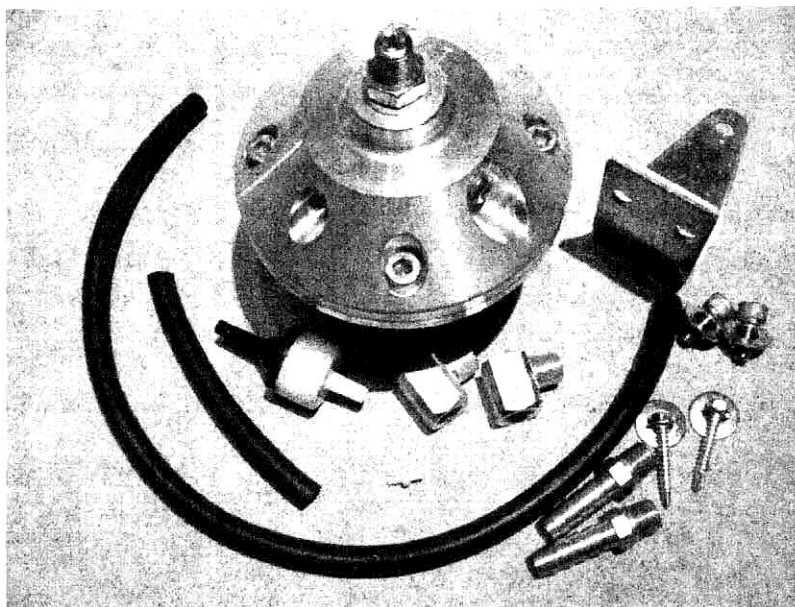


Рис. 7-8. Регулятор давления топлива, повышает давление топлива вместе с ростом давления наддува.



### Увеличение давления топлива.

Увеличение давления топлива в системе как функции давления наддува - жизнеспособный метод увеличения расхода топлива, для обеспечения работы системы при давлении наддува примерно до 0,6 бар. Расход топлива через форсунку, пропорционален квадратному корню давления на форсунке. Управляемый давлением наддува, регулятор давления топлива может быть установлен, для быстрого управления давлением топлива, чтобы оно соответствовало увеличивающемуся давлению наддува. Регулятор этого типа может использовать штатные форсунки, но его использование ограничено давлением топлива, создаваемым штатным топливным насосом. Насосы Bosch или другие высоконапорные топливные насосы могут быть установлены или использоваться как вспомогательные насосы. Эти насосы обеспечивают давление топлива около 8 бар, которое обеспечивает нормальное функционирование регулятора давления топлива. Давление топлива, пропорциональное давлению наддува, сохраняет механизм расчетов в блоке управления двигателем, обеспечивая подачу топлива, соответственно массовому расходу воздуха.

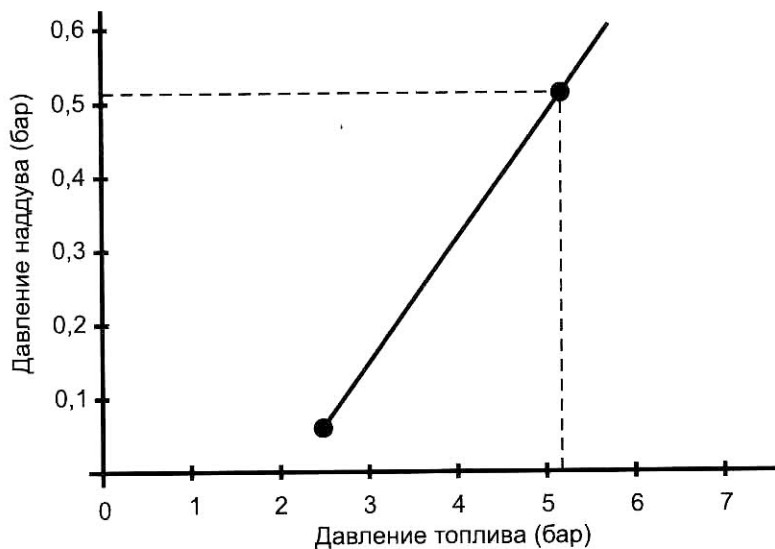


Рис. 7-9. Регулятор давления топлива может обеспечить значительно более высокое давление топлива как функцию давления наддува.

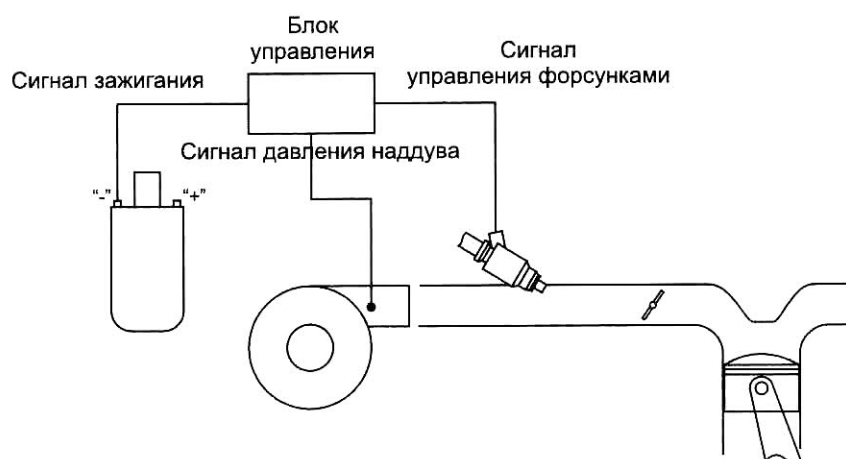
### Дополнительные форсунки

В некоторых системах пытаются увеличивать мощность, устанавливая одну или две общие форсунки, в отличие от отдельных форсунок для каждого цилиндра. Эти форсунки обычно размещаются в воздуховоде, входящем в корпус дроссельной заслонки, и могут управляться небольшим блоком управления, работающем на основании сигнала давления наддува и частоты вращения. Как и в случае с увеличенным давлением топлива, дополнительные форсунки можно использовать только до давления наддува приблизительно 0,6 бар. Это - неидеальная система, и, если она используется, при расположении форсунок необходимо проявить осторожность для достижения равномерного распределения топлива по цилиндрам в коллекторе, предназначенном для воздуха.

Форсунки должны также иметь соответствующий размер, чтобы обеспечить расход топлива, необходимый для желательного расхода воздуха. В идеальном случае, для серьезной мощности, требуется одна дополнительная форсунка на цилиндр. В противном случае рассматривайте это как механизм "для низкого давления наддува".

Предшествующие параграфы описывают методы, которыми система впрыска топлива может быть модифицирована для работы под наддувом. До выбора метода, который удовлетворяет вашим требованиям, Вы должны быть уверены, что Ваши измерения и вычисления верны. Не занимайтесь всякими глупостями вроде включения форсунок холодного запуска или любых других одинаково глупых схем, без соответствующего исследования, подтверждающего, что схема отвечает всем требованиям, предъявляемым к должным образом задуманной топливной системе.

Рис. 7-10. Одна или две дополнительные форсунки для системы могут обеспечить подачу топлива в системах с низким давлением наддува, но не подходят для серьезной мощности.



### Расчет размеров форсунок

Топливные форсунки системы впрыска имеют расход топлива в единицу времени, измеряемый в см<sup>3</sup>/мин. Существует огромное разнообразие размеров. Также большое число единиц объема или массового расхода используется, чтобы оценить пропускную способность форсунки.

Вычисления, необходимые для поиска форсунок требуемого размера, не являются сложными. В них нет никакой ракетной науки. Одно простое вычисление и работа выполнена:

$$\text{Расход топлива на форсунку} = \frac{\text{желаемая мощность} \times 5,775}{\text{количество форсунок}}$$

Число 5,775 - фактически удельный расход топлива при максимальной нагрузке для типичного двигателя с турбонаддувом. В общем случае, число форсунок равно числу цилиндров. Понятно, что нужно выбирать следующий больший размер форсунки, чем расчетная величина. Больший размер может обеспечить некоторую свободу для будущих усовершенствований двигателя.



### Тестирование форсунок

Форсунка может быть протестирована на фактический расход топлива. Для этого нужно подать на форсунку давление топлива 2,5 бара (стандартное давление топлива для большинства автомобилей и стандартное давления для измерения расхода форсунки), обеспечивая открытие форсунки от источника напряжения. Топливо сливается в градуированную мензурку в течении одной минуты. Результатом испытания будет расход топлива, измеренный в см<sup>3</sup>/мин. Пары 1,5-вольтовых батареек будет достаточно, чтобы форсунка открылась, но лучше использовать источник питания с напряжением близким к напряжению бортовой сети автомобиля.

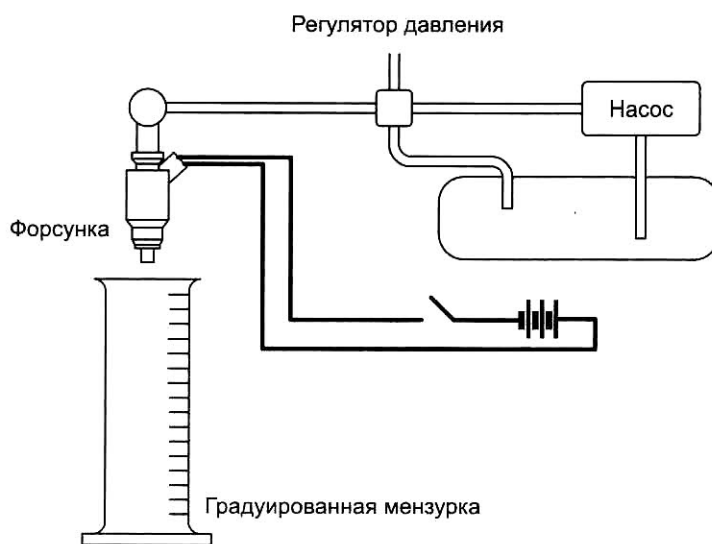


Рис. 7-11. Простая схема для определения расхода топливной форсунки.

### Требования к топливному насосу

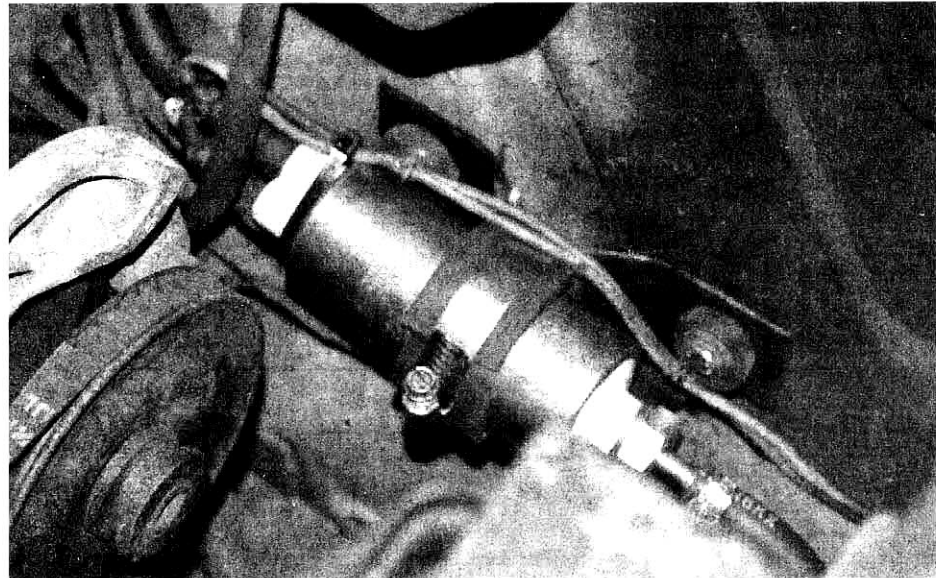
Потребность в топливе любого двигателя должна быть обеспечена системой топливоподачи. Система топливоподачи это топливный насос, регулятор давления топлива и топливопроводы. Система топливоснабжения должна быть готова выполнить запросы, в разумных пределах, дополнительных возможностей двигателя. Эти пределы требуют баланса между расходом насоса и его рабочим давлением. Особенность всех топливных насосов то, что они обеспечивают максимальный расход при наименьшем давлении. Максимальное давление насоса достигается тогда, когда выход насоса полностью закрыт. Другими словами, при расходе равном нулю. С другой стороны, максимальный расход насоса достигается тогда, когда насос работает без какого-либо сопротивления. Топливный насос системы впрыска – это насос объемного действия, который приводится электродвигателем постоянного тока. Когда насос заставляют работать с большей нагрузкой, обороты двигателя падают. Поскольку обороты двигателя падают, объем нагнетаемого топлива снижается. Для работы системы впрыска необходимо давление топлива 2,7 бара и более. Поэтому мы должны знать, вычислить, или измерить расход топлива при этом давлении.

Любой насос имеет график зависимости расхода от давления. Такие данные, возможно, трудно достать, но это не единственная воз-

возможность для получения расходной характеристики конкретного насоса.

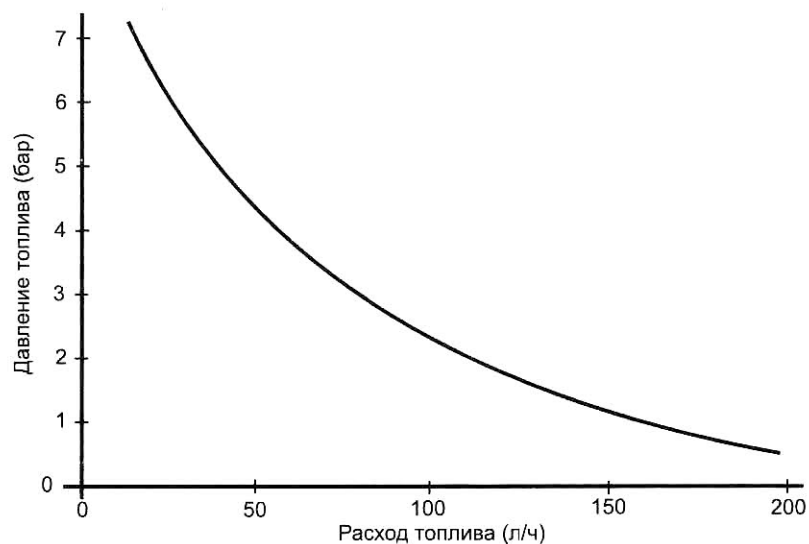
Возможно, самый простой метод определить характеристику насоса (особенно, если он уже установлен) – фактические эксплуатационные испытания, в результате которых можно узнать, обеспечивает ли он максимальное требуемое давление топлива на максимальных оборотах двигателя. Если это так – замечательно. Если нет, тогда этот тест не даст никаких данных о том, какой насос нам необходим.

Рис. 7-12. Топливные системы для турбодвигателей, особенно управляемые повышающим регулятором давления топлива, требуют топливных насосов с высоким давлением и высоким расходом. Этот насос Walbro обеспечивает давление 8,5 бара и расход топлива, достаточный для достижения 500 в/мр.



Стандартный метод измерения расхода насоса системы впрыска при заданном давлении состоит в том, чтобы соединить его с регулятором давления топлива и измерить объем топлива, проходящий по обратному топливопроводу. Это – объем топлива, который может быть обеспечен топливной системой при этом давлении без снижения давления топлива. При соединении вакуумной камеры регулятора давления топлива с атмосферой, давление топлива будет 2,5 бара. Это давление используется при построении графика пропускной способ-

Рис. 7-13. Типичная кривая расхода топливного насоса относительно давления топлива. Топливные насосы обеспечивают меньший расход с увеличением давления. Требуемый расход топлива для двигателя должен всегда находиться ниже этой кривой.



ности насоса. Одинаково легко моделировать расход топлива при работе под давлением. Подайте сигнал давления на регулятор давления топлива, равный желаемому давлению наддува, и снова измерьте количество топлива, вытекающего из возвратной трубки регулятора. Эта может быть выполнено при помощи баллона с воздухом и регулятором давления воздуха. Давление топлива будет равно давлению наддува плюс 2,5 бара. Из вычисления размеров форсунок, необходимых при максимальной нагрузке, известен полный требуемый расход топлива. В сумме это производительность форсунки, умноженная на число форсунок. Количество кубических сантиметров в минуту, разделенное на 1000 это число литров в минуту. Если точка на графике, представляющая ваши требования к расходу топлива относительно давления топлива лежит ниже линии, все хорошо. Если точка лежит выше линии, требуется два или более насоса, работающие параллельно.

### Системы управления двигателем сторонних производителей

Замечательная сторона системы впрыска, это ее высокая степень настройки, позволяющая настроить правильную подачу топлива в широком диапазоне изменения давления во впускном коллекторе. Для сравнения, самый прекрасный в мире карбюратор имеет четыре камеры, которые могут быть рассчитаны в диапазоне, в котором ему предстоит работать. В этом же самом диапазоне, система впрыска предлагает буквально сотни вариантов подачи топлива для, фактически, каждой сотни оборотов в минуту и каждой единицы давления во всасывающем

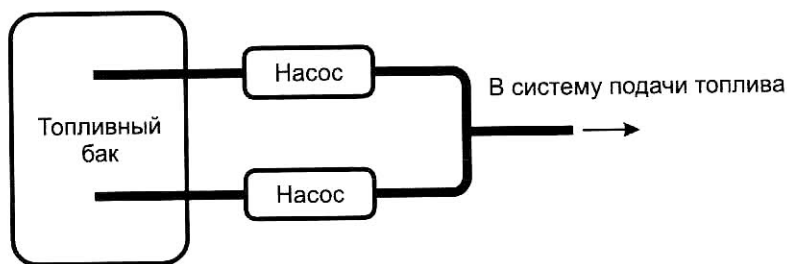


Рис. 7-14. Топливные насосы, работающие параллельно должны иметь отдельные топливopриемники.

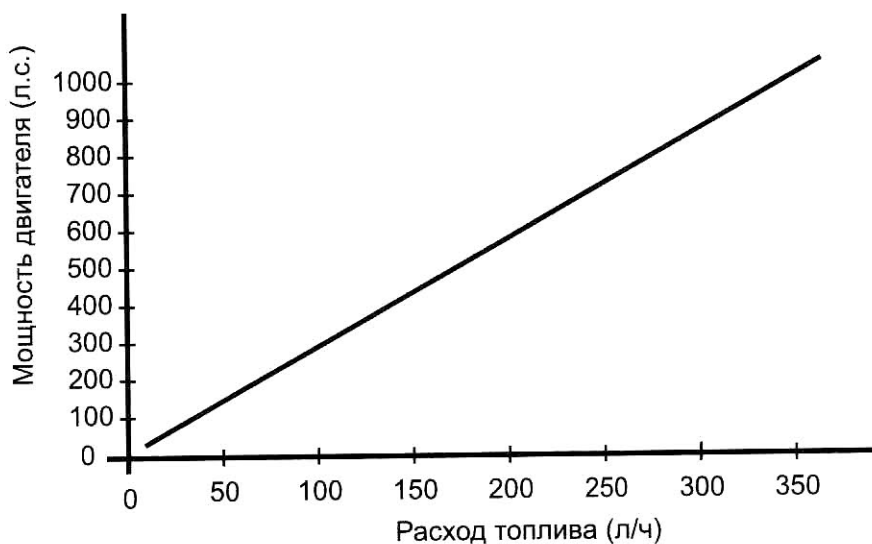


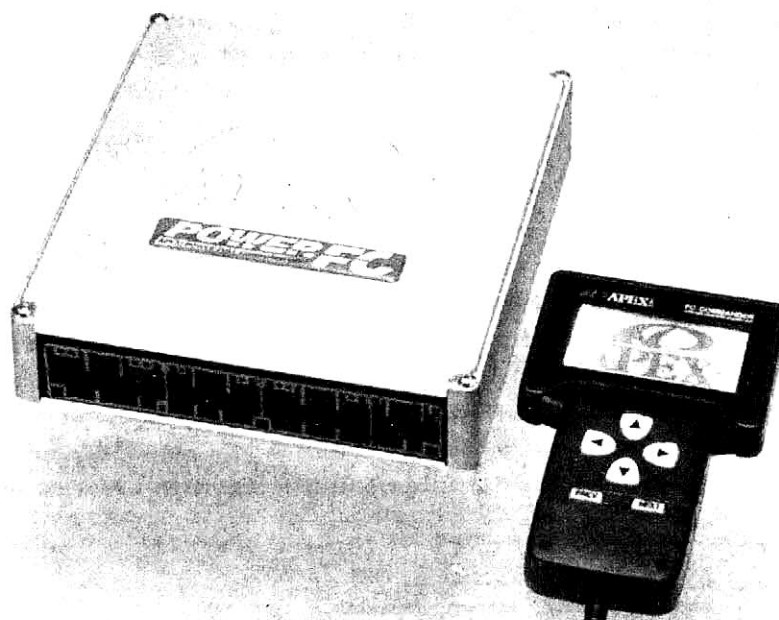
Рис. 7-15. Приблизительные требования к расходу топливного насоса относительно мощности двигателя.

коллекторе. Это эквивалентно наличию 500 вариантов размера главного жиклера в карбюраторе, каждый из которых идеально подобран для определенной нагрузки на двигатель при определенной частоте вращения.

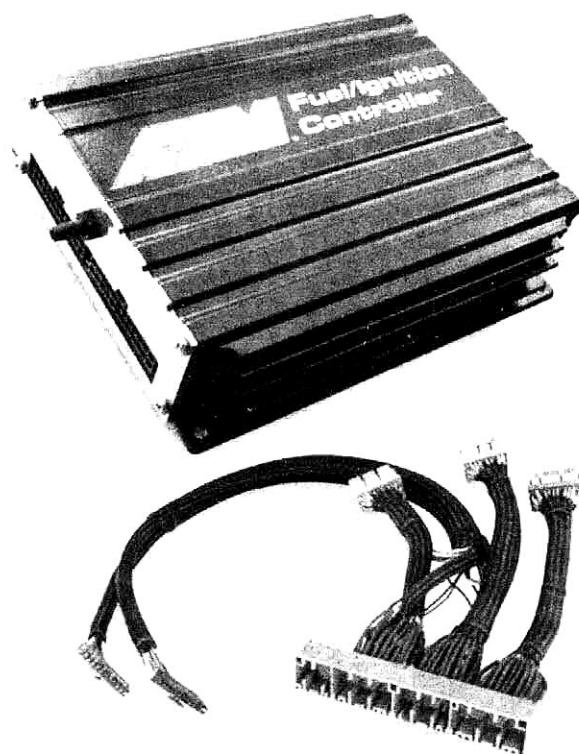
Сегодня на рынке существует несколько, хорошо зарекомендовавших себя, систем.

Полностью программируемые блоки предлагают AEM, Motec, Haltech, Apexi и другие производители. Такие системы управления могут поставляться с уже установленным программным обеспечением и картами топливоподачи и зажигания для конкретного выбранного двига-

*Рис. 7-16. Система управления двигателем Apexi Power FC поставляется со стандартными топливными таблицами и таблицами зажигания для выбранного двигателя. Для удобства настройки к блоку управления подключается портативный пульт.*



*Рис. 7-17. Система управления двигателем AEM.*



теля. Кроме основных функций управления двигателем эти системы обеспечивают множество дополнительных функций, таких как запись параметров работы двигателя или управление давлением наддува.

Кроме систем управления, разработанных специализированными компаниями, появились и системы, создание которых стало результатом усилий энтузиастов. Вооруженные знаниями в области систем управления и разработки программного обеспечения группы энтузиастов разработали такие системы управления как Megasquirt и VEMS. Эти системы конечно проще, чем Motec или Apexi, но со своими задачами справляются и позволяют создавать работоспособные, гибко настраиваемые системы турбонаддува. Система VEMS доказала свою прекрасную работоспособность на соревнованиях.

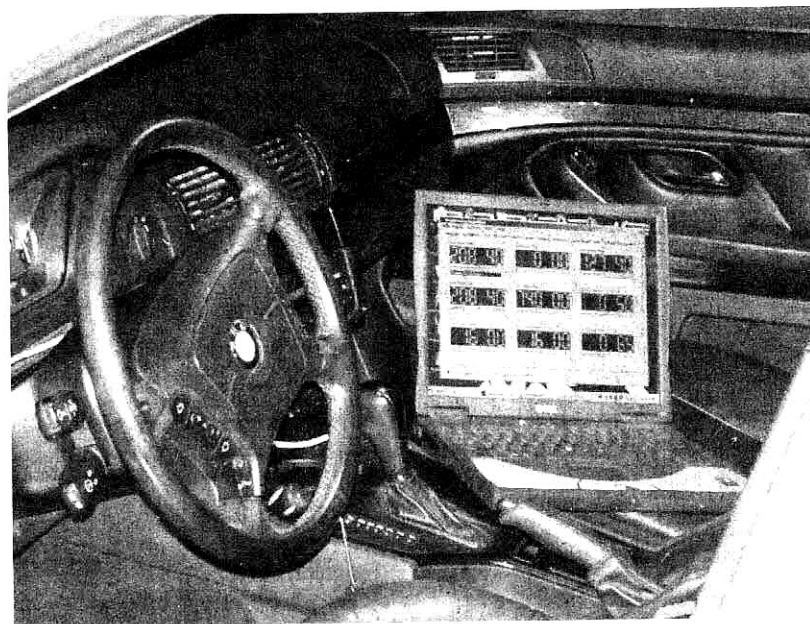


Рис. 7-18. Ноутбук - основной инструмент для создания и настройки топливных кривых aftermarket систем управления двигателем.

### Установка систем впрыска сторонних производителей.

Установки системы впрыска на двигатель означает обеспечение подачи воздуха и подачи топлива. Поставленные задачи, по сути, являются теми же самыми, которые были обсуждены ранее в этой главе, плюс несколько новых вопросов. Задача подачи топлива аналогична этому же вопросу в штатной системе впрыска. Нужно рассмотреть конструкцию впускного коллектора, корпус дроссельной заслонки, а так же количество и расположение форсунок.

#### Итоги главы

*Есть ли смысл в установке дроссельной заслонки с протяжкой воздуха на автомобиле с электронным впрыском топлива?*

Заметное улучшение приемистости между переключениями передач может быть достигнуто путем установки дроссельной заслонки перед турбонагнетателем, если в системе не используется промежуточный охладитель. Закрытие дроссельной заслонки перекрывает поток из турбонагнетателя, и дает большую потерю оборотов турбонагнетателя. Эти потерянные обороты должны быть повторно набраны, прежде чем снова будет создано давление наддува. Дроссельная заслонка на выходе

турбонагнетателя с промежуточным охладителем, в конечном счете, окажется лучшим вариантом если в системе имеется байпасный клапан компрессора.

*Почему необходимы изменения в существующих топливных системах?*

Системы турбонаддува с карбюратором не предъявляют никаких требований к дополнительным систем подачи топлива. Чем больше количество протягиваемого через карбюратор воздуха, тем больше падение давления в трубке Вентури, и таким образом большее количество топлива подается через главный жиклер. Необходимо только правильно подобраный и настроенный карбюратор, и это все.

Абсолютно другая ситуация с системами впрыска топлива. Обычно утверждается, что когда будет установлен турбонагнетатель, системы впрыска топлива будут заботиться о себе сами. Это совершенно не так. Система впрыска топлива настроена для данного двигателя. Блок управления от 2-литрового двигателя не будет работать на 4-литровом двигателе. Причина этого в том, что датчики расхода воздуха и топливные форсунки подобраны в соответствии с расходом воздуха через двигатель, и любое существенное увеличение расхода воздуха от штатного выйдет за пределы измерения датчика расхода воздуха. Датчик расхода воздуха от 2-литрового двигателя, испытывающий на себе бесконечно большой расход воздуха, мог бы думать некоторое время, что это мотор объемом 2,2 литра, но неизвестно, насколько это время может растянуться. Теперь добавьте турбонагнетатель, и Вы можете легко сделать 3-литровый двигатель из 2-литрового с наддувом всего лишь 0,5 бара. Очевидно, измеритель расхода воздуха системы впрыска топлива достигнет своего предела измерения и не сможет справиться с увеличенным расходом воздуха. Двигателю с турбонагнетателем никогда нельзя позволять работать на обедненной смеси, поэтому необходимы соответствующие изменения системы впрыска для обеспечения необходимым количеством топлива того дополнительного воздуха, который будет подан в систему турбонагнетателем.



---

# Карбюратор

На первый взгляд, идея о современном двигателе с турбонаддувом и карбюратором в одном флаконе, кажется противоречивой. При внимательном рассмотрении оказывается, что это действительно так. Но прежде чем отвергнуть эти старинные устройства, в этой главе мы попытаемся описать принципы действия систем турбонаддува с карбюратором.

Причины, по которым карбюратор полностью не удовлетворяет требованиям подачи топлива для двигателя с турбонаддувом, понятны и ясны. Выделяются две причины: величина расхода воздуха, при которой карбюратор может успешно работать, и неспособность системы с турбонагнетателем позади карбюратора (системы с протяжкой воздуха) на работу с промежуточным охладителем. Карбюратор имеет три элемента управляющие расходом топлива: жиклер холостого хода, главный жиклер, и воздушный жиклер, а так же мощностные жиклеры. Хотя эти элементы управления удовлетворительно функционируют при величине абсолютного давления 1,4 - 1,7 бара (0,4 - 0,7 бара наддува), точное управление топливовоздушной смесью, чтобы удовлетворить или максимальным характеристикам или любым стандартам по выбросу вредных веществ, маловероятно. Физические правила гидроаэромеханики просто не позволяют сделать этого.

Возможны две различных компоновки систем турбонаддува с карбюратором. В системе с протяжкой воздуха карбюратор помещен перед турбонагнетателем, и топливовоздушная смесь проходит через всю систему.

Система с продавливанием воздуха выполнена наоборот, карбюратор размещен после турбонагнетателя. При такой компоновке топливовоздушная смесь не проходит через турбонагнетатель.

Эти два типа систем имеют свои достоинства и недостатки. Система с протяжкой воздуха является более простой, потому что это система низкого давления, в карбюраторе не происходит никакого изменения плотности воздуха. Так же не требуется байпасный клапан компрессора.

Это все, что можно сказать о системе с протяжкой воздуха.

Система с продавливанием воздуха имеет лучшую приемистость и холодный запуск, пониженный выхлоп вредных веществ и допускает использование промежуточного охладителя.

После рассмотрения перечисленных достоинств, фактически нет никаких причин строить систему с протяжкой воздуха, если только вы не живете в местности с теплым климатом, и никогда не намереваетесь развить серьезную мощность.

**В системе с протяжкой воздуха карбюратор склонен к обледенению при температуре окружающей среды ниже 10°C.**

Рис. 8-1. Общий чертеж системы турбонаддува с нагнетателем позади карбюратора (система с протяжкой воздуха)

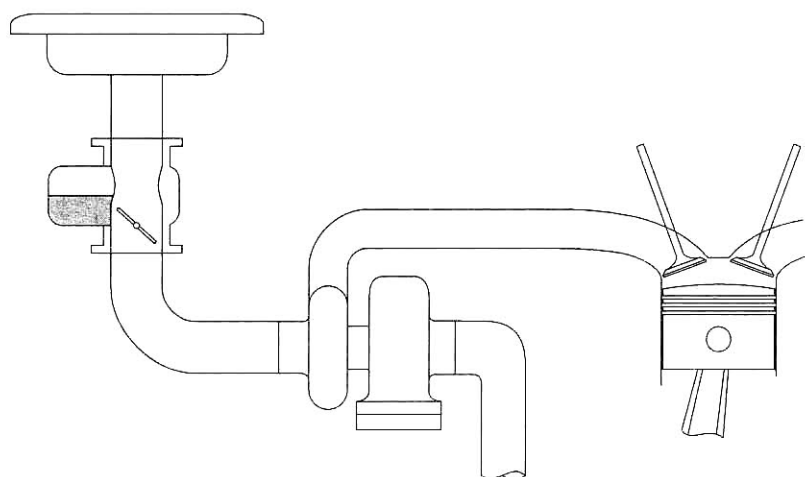
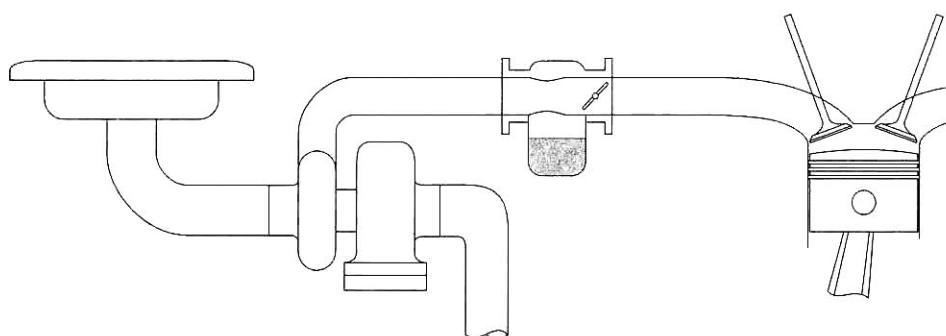


Рис. 8-2. Компоновка системы с нагнетателем перед карбюратором (система с продавливанием воздуха) представляет более совершенный путь для топливоздушнoй смеси, в отличие от системы с протяжкой воздуха.



### Компоновка системы с протяжкой воздуха

Главная проблема при компоновке системы с протяжкой воздуха состоит в том, что топливоздушная смесь всегда проходит через всю систему. Топливо склонно к конденсации при понижении температуры. Конденсация топлива ужасно сказывается на холодном холостом ходе и реакции на низких оборотах.

Водяная рубашка, добавленная для подогрева карбюратора и улитки турбоагнетателя, уменьшает конденсацию топлива. Однако даже мысль о преднамеренном добавлении теплоты к системе впуска не должна рассматриваться иначе как исключение. Дальнейшее добавление теплоты может потребоваться для предотвращения обледенения карбюратора при работе под давлением. Как правило, при правильном соотношении воздух/топливо при испарении топлива в карбюраторе

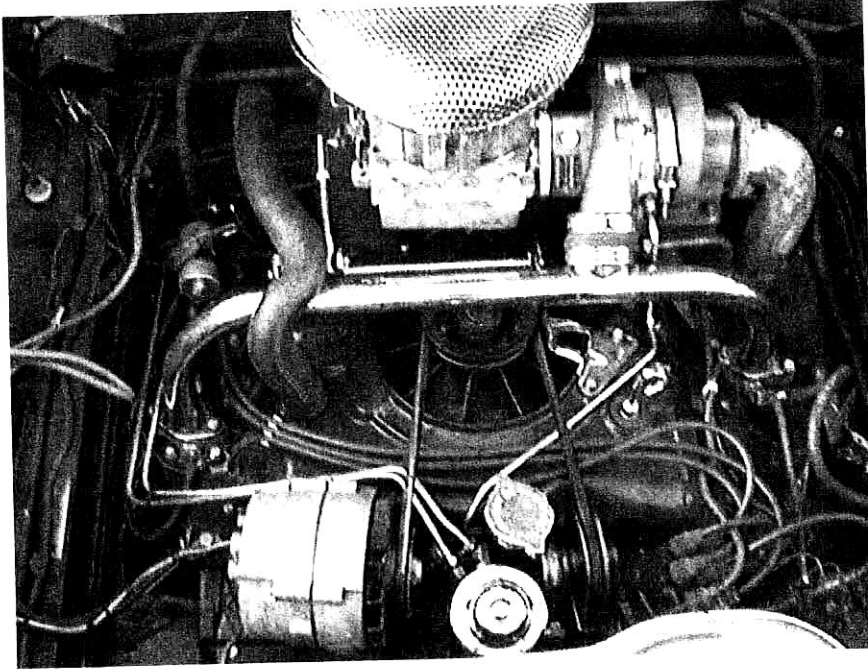


Рис. 8-3. Ранние системы турбонаддува с карбюраторами, подобно этой, просто протягивали воздух через карбюратор. За ними последовали более современные компоновки с продавливанием воздуха через карбюратор.

создается падение температуры около  $20^{\circ}\text{C}$ . Это падение температуры, вкуче с прохладным, влажным окружающим воздухом, часто вызывает обмерзание дроссельных заслонок, полностью открытых при работе с наддувом. Это обстоятельство, можно исправить, только добавив некоторое количество тепла на впуск.

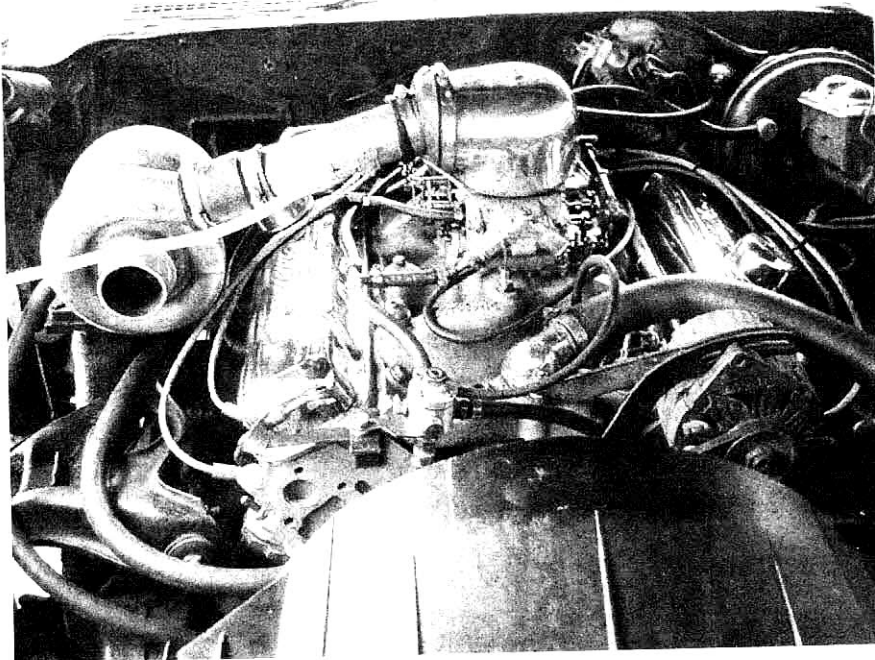


Рис. 8-4. Система турбонаддува с продавливанием воздуха через карбюратор, установленная на двигатель Pontiac V8.

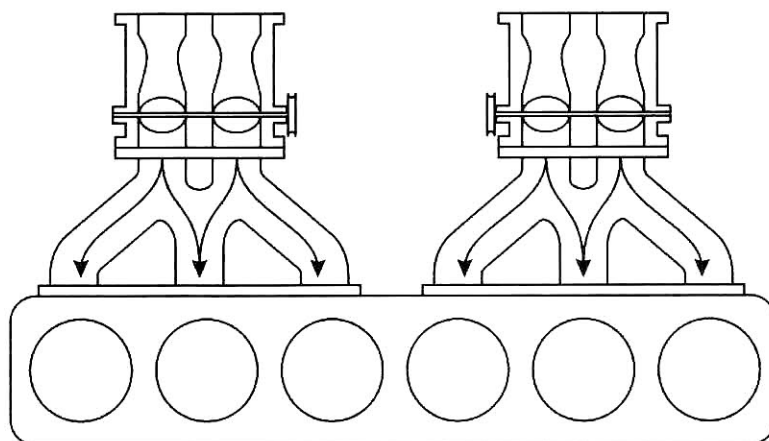
Выбор карбюратора для системы с протяжкой воздуха необходимо делать, принимая во внимание только расход воздуха через двигатель без учета турбонагнетателя. Причина этого в том, что расход воздуха через карбюратор основан только на падении атмосферного давления. Турбонагнетатель нарушит эти условия, изменяя величину разрежения за дроссельными заслонками. В результате этого, карбюратор при атмосферном давлении перед дроссельными заслонками может пропустить большее количество воздуха для данного двигателя из-за пониженного давления за дроссельными заслонками, созданного турбонагнетателем. Другими словами, турбонагнетатель создает большой перепад давления на карбюраторе.

Рис. 8-5. В этой системе турбонаддува с продавливанием воздуха через карбюратор на Jaguar XJ12L установлен жидкостный промежуточный охладитель. Хорошо видны трубки для подвода сигнала давления из впускного ресивера.



Система с протяжкой воздуха имеет скрытую ловушку при выборе карбюратора соответствующего размера. Эта ловушка образуется из-за дополнительного обстоятельства, при котором один цилиндр может

Рис. 8-6. Не допускайте компоновки, при которой один цилиндр сможет всасывать воздух через два диффузора одновременно. Такая компоновка будет склонна к перекарбюрированию и будет нефункциональной.

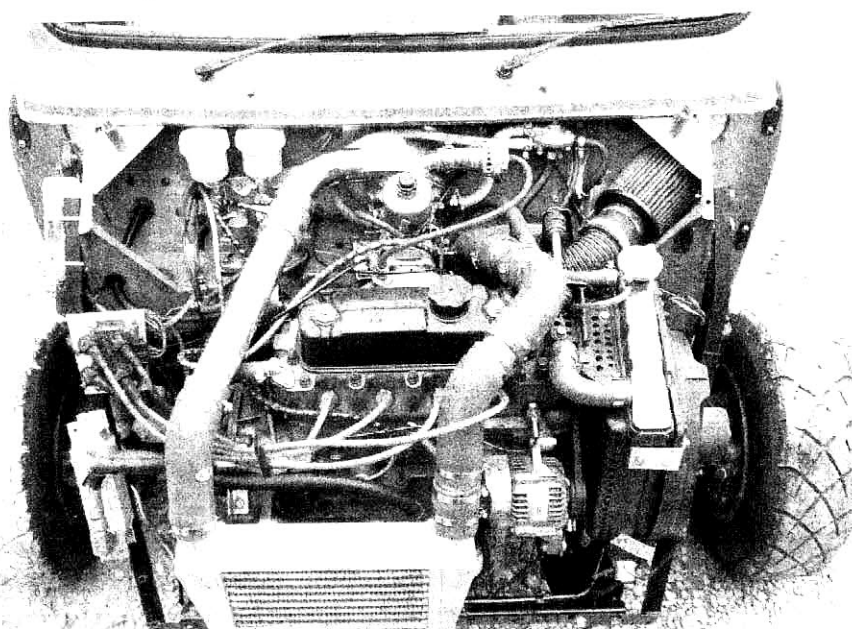


протягивать воздух через сечение карбюратора в данный момент времени. Например, представьте карбюратор с двумя диффузорами, установленный перед турбонагнетателем, и все это установлено на четырехцилиндровом двигателе. Хотя пропускная способность карбюратора может быть согласована со всей системой, мы имеем ситуацию, в которой каждый цилиндр всасывает воздух через эти два диффузора. Это можно сравнить с установкой четырех двухдиффузорных карбюраторов на четырех цилиндровый двигатель, такая ситуация была бы конечно ужасной и ее можно было бы назвать чрезмерное карбюрирование. Вся беда от этого факта то, что один цилиндр, протягивающий воздух через два диффузора, создает в них очень низкую скорость воздуха. Из-за этого разрежение в карбюраторе недостаточно для работы главного жиклера; следовательно мы имеем низкий расход топлива через жиклер. Ситуация несколько улучшается при наличии большего количества цилиндров, но главная проблема все же остается. Одно из решений проблемы – выбор карбюратора с небольшим основным диффузором и с управляемой вакуумом вторичной камерой.

Подготовка карбюратора для системы турбонаддува с протяжкой воздуха не представляет никаких особых сложностей. В большинстве случаев будут необходимы несколько большие главные жиклеры, подача ускорительного насоса, и жиклеры холостого хода, чем у обычного атмосферного двигателя такого же объема. Как правило, требуется запорная игла поплавковой камеры большего диаметра, чтобы удовлетворить возросшие требования к расходу топлива.

### Компоновка системы с продавливанием воздуха

Система с продавливанием воздуха обеспечивает идеальную компоновку для распределения топлива по цилиндрам. Все классические способы компоновки карбюратора на двигателе остаются неизменными при подаче сжатого воздуха через карбюратор. Эти компоновки удачно работали на обычном атмосферном двигателе и будут, конечно, работать в компоновке с продавливанием воздуха через карбюратор. Хотя



*Рис. 8-7. Система с продавливанием воздуха через карбюратор, смонтированная на автомобиле Austin Mini. Благодаря применению такой компоновки в системе установлен интеркулер. Хорошо виден клапан сброса давления.*

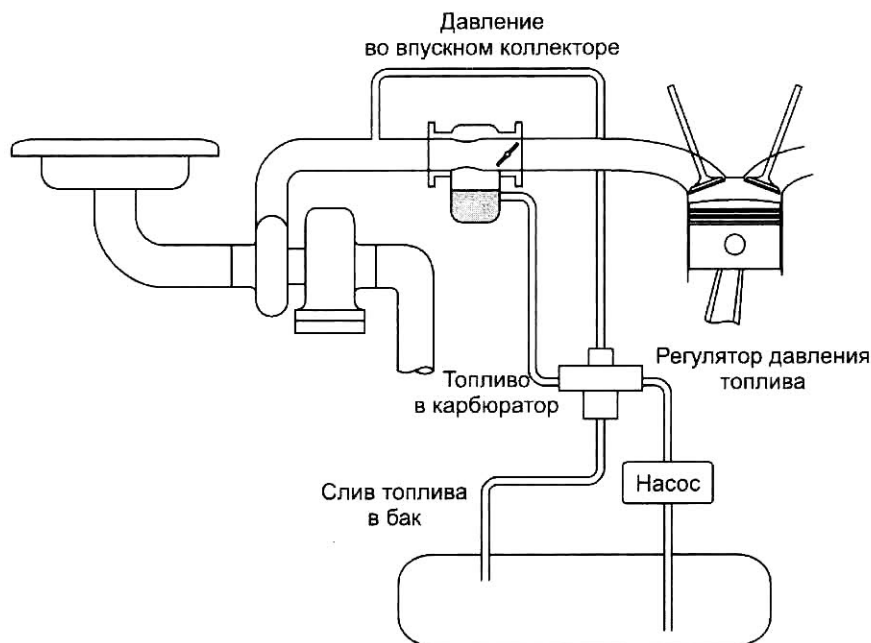


доступное свободное пространство часто влияет на число и тип карбюраторов, одна заслонка карбюратора на цилиндр всегда должна быть конечной целью. При компоновке системы с продавливанием воздуха должны быть выполнены несколько условий:

- давление топлива, должно управляться как функция давления наддува.
- все узлы топливной системы должны соответствовать увеличенному давлению топлива.
- необходим байпасный клапан компрессора.

**Управление давлением топлива.** Требование об изменении давления топлива объясняется тем фактом, что поплавки карбюратора подвергаются изменяющемуся давлению, от атмосферного на холостом ходу и номинальном режиме до максимального давления при работе нагнетателя. Если давление топлива было бы постоянно, скажем, 0,25 бара, то когда давление наддува превысит его, топливо будет поступать обратно в топливный бак. Очевидно, что для подачи топлива в поплавковую камеру, давление в которой составляет 1 бар, требуется давление топлива 1,22 - 1,3 бара. Если бы это давление оставалось постоянным, оно хорошо бы подходило для работы с наддувом, но на номинальных режимах или холостом ходу карбюратор был бы залит топливом. Решение – регулятор давления топлива, который изменяет давление топлива в зависимости от давления наддува.

Рис. 8-8. Система с продавливанием воздуха должна иметь регулятор давления топлива, чувствительный к давлению наддува



**Требования к топливному насосу.** Очевидна необходимость обеспечить большой расход топлива при работе с наддувом. Топливные насосы, диапазоны давления и расхода обсуждались в Главе «Система впрыска топлива».

**Байпасный клапан.** Байпасный клапан компрессора, или противопомпажный клапан, необходим для нормальной работы системы с продавливанием воздуха. Конкретный момент, при котором требуется наличие клапана – момент закрытия дроссельной заслонки после ра-



боты под давлением. Это, например, момент переключения передачи при работе с наддувом. Проблема возникает когда после закрытия дроссельной заслонки в коллекторе создается разрежение. Выходное отверстие жиклера холостого хода при этом находится в зоне разрежения, в то время как его входное отверстие все еще находится под давлением из поплавковой камеры, от турбонагнетателя, который продолжает нагнетать воздух. Возникший перепад давлений на жиклере холостого хода является причиной большого выброса топлива и резкого обогащения смеси. Когда переключение передачи выполнено, и дроссельная заслонка снова открывается, отзывчивость двигателя ухудшается из-за внезапного обогащения топливовоздушной смеси. Ситуация нормализуется, как только система снова достигает постоянного давления наддува, когда давление одинаково на обеих сторонах жиклера холостого хода.

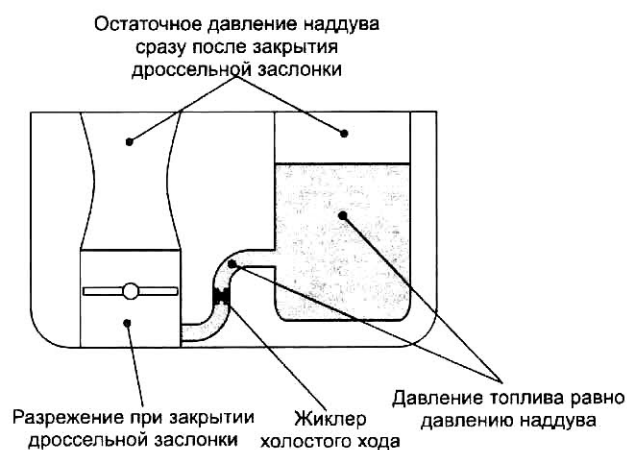


Рис. 8-9. При работе с наддувом карбюратор находится под давлением. Когда дроссельная заслонка закрыта, остаточное давление в поплавковой камере и вакуум ниже дроссельной заслонки приведут к значительному расходу топлива, через жиклер холостого хода. Байпасный клапан быстро снижает давление в поплавковой камере.

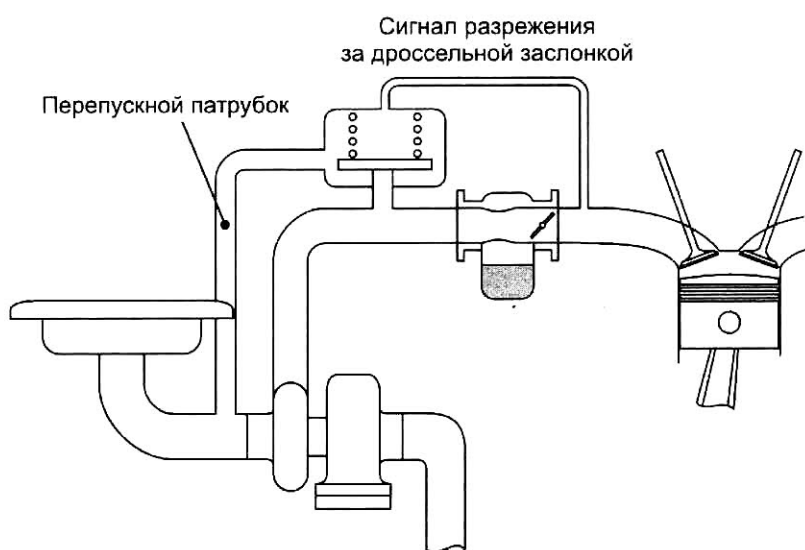


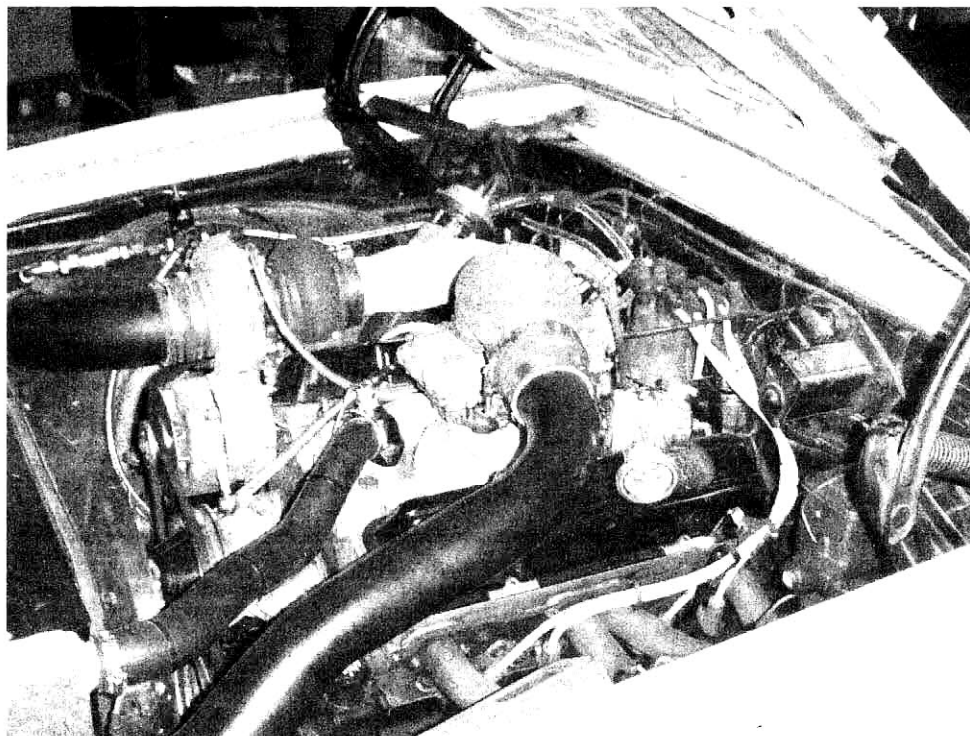
Рис. 8-10. Байпасный или противопомпажный клапан необходим в системах с продавливанием воздуха, чтобы быстро снизить давление в поплавковой камере при закрытии дроссельной заслонки.

Байпасный клапан предназначен для сброса давления из пространства перед дроссельной заслонкой, при ее закрытии, быстро переводя систему на стабилизированное давление. Это выполняется путем использования вакуума из впускного коллектора, образующегося при

закрытии дроссельной заслонки. При этом открывается клапан, быстро сбрасывающий давление.

**Распределение вакуума и давления.** Для успешной работы системы с продавливанием воздуха необходим источник сигнала управления для вестгейта и регулятора давления топлива. Это условие объясняется необходимостью управлять перепадом давления на запорной игле поплавковой камеры карбюратора. Этот перепад давлений – разность между давлением топлива на входе в поплавковую камеру и давлением наддува, которое создано в поплавковой камере.

Рис. 8-11. Установка клапана сброса давления в турбосистеме, установленной на Chevrolet Camaro 1968 года.



Перепад давлений должен быть постоянным на всех эксплуатационных режимах. Чтобы выполнять это условие важно, чтобы оба управляющих сигнала были взяты из камеры впуска перед дроссельными заслонками. Лучше брать эти сигналы в одном и том же месте. Чтобы пояснить, что может случиться, если не будет выполнено это требование, представим, что оба сигнала взяты за дроссельной заслонкой. Это самое неподходящее место для измерения давления наддува, давление в этой точке всегда самое низкое. Потери давления в карбюраторе могут составлять 0,2 - 0,25 бара. Если сигнал на вестгейт поступает из коллектора, в поплавковой камере давление будет на 0,2 - 0,25 бара больше. Если давление топлива установлено на 0,35 бара выше давления наддува, то реальный перепад давлений на запорной игле поплавковой камеры будет 0,15 - 0,1 бара, конечно, такого перепада недостаточно для работы под наддувом. Если давление топлива поднять, чтобы компенсировать это, будет нарушена настройка холостого хода, когда в поплавковой камере будет атмосферное давление. Опять же, на холостом ходу давление топлива будет 0,55 - 0,6 бара, слишком высокое давление для иглы поплавковой камеры.

### Подготовка карбюратора.

Несколько элементов конструкции карбюратора нуждаются в осмотре и/или подготовке перед использованием его в системе с продавливанием воздуха.

Карбюратор для системы с продавливанием воздуха должен иметь твердый поплавок. Если тот, который Вы хотите использовать, имеет медный или другой поплавок из листового материала, который может деформироваться под давлением наддува, поплавок должно быть заменен на твердый. Существуют разнообразные методы, чтобы заполнить полый поплавок легкой пеной. Некоторые из них заключаются во впрыскивании жидкости, твердеющей внутри поплавка.

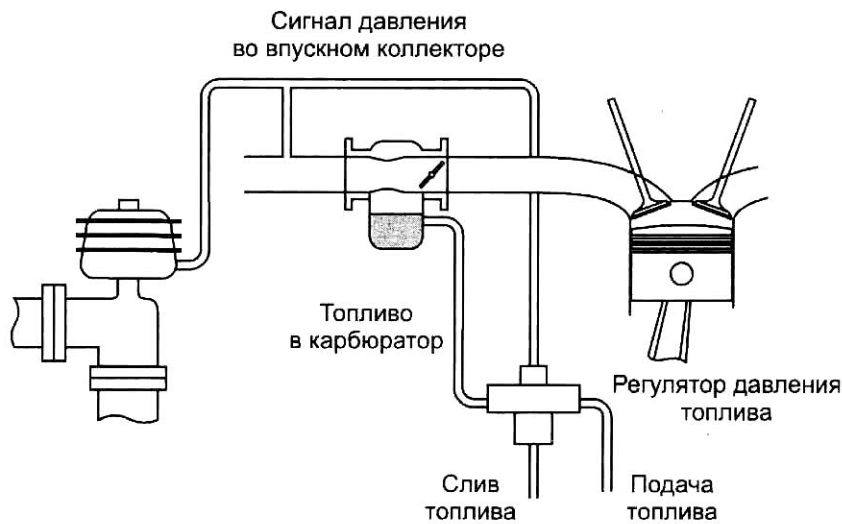


Рис. 8-12. Сигналы для вентгейта и регулятора давления топлива должны брать начало в одной и той же точке системы, перед дроссельной заслонкой.

Внимательно осмотрите карбюратор на наличие заглушек, закрывающих технологические отверстия. Эти заглушки могут смещаться со своего места при работе под давлением. Заглушка может быть закреплена путем накернивания остроконечным кернером. Сделайте накернивания вокруг заглушки, чтобы основной металл корпуса карбюратора зафиксировал заглушку на месте. Другой метод закрепления заглушек состоит в том, чтобы зафиксировать их высококачественными герметиками.

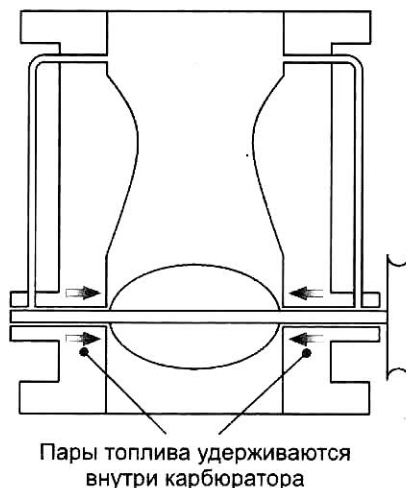


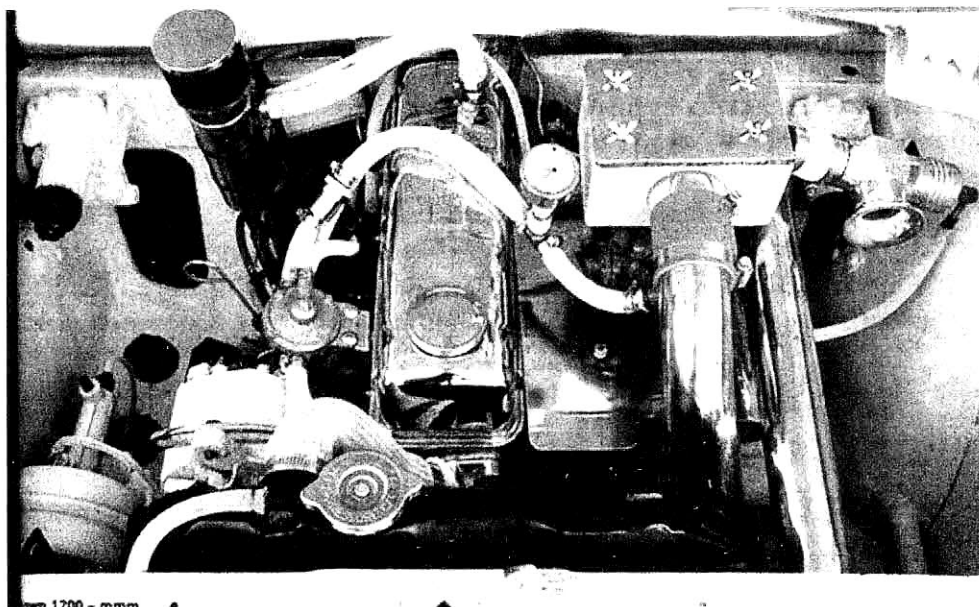
Рис. 8-13. Когда утечка топлива через оси дросселя - проблема, давление наддува, перед диффузором, которое будет всегда выше чем после диффузора, может быть подведено к втулкам вала, чтобы вернуть смесь назад в камеру карбюратора.

венным эпоксидным клеем. Помните то, что большие заглушки будут выходить из строя в первую очередь, поскольку они испытывают большую силу от давления.

Осмотрите все прокладки в карбюраторе. Любая прокладка, которая кажется неудовлетворяющей поставленным задачам, должна быть заменена. Можно усилить прокладку очень легким покрытием клея-герметика Loctite, нанесенным на одну сторону. Ни в коем случае Вы не должны использовать кремнийорганический или другой подобный каучукообразный герметик, поскольку Вы будете находить его в топливных жиклерах после первого осмотра карбюратора. Особенно важно загерметизировать все прокладки или другие элементы на крышке поплавковой камеры, чтобы избежать потери перепада давления на главном жиклере. Если имеются утечки давления из поплавковой камеры, подача топлива будет недостаточной при высоком давлении наддува.

Оси дроссельной заслонки карбюратора будут пропускать топливо под давлением, если не будут уплотнены. Большинство утечек будут незначительны и не будут влиять на безопасность или работоспособность. Аккуратность диктует, что валам дроссельных заслонок необходима некоторая герметизация. Вероятно, самый легкий и наиболее эффективный метод состоит в том, чтобы обеспечить барьер давления, который будет сдерживать топливно-воздушную смесь в камере карбюратора. Это может легко быть сделано прокачкой некоторого давления наддува из коллектора в карбюратор, до небольших соединений, помещенных в приливы корпуса, через которые проходит ось дроссельной заслонки.

*Рис. 8-14. Система турбонаддува, установленная на двигателе Datsun A12. Видны клапан сброса давления, регулятор давления топлива и манометр для измерения давления топлива.*



Клапан холодного пуска с подачей топлива, в отличие от клапана с ограничителем воздуха, будет нуждаться в уравнивании давления для устранения противотока при работе под наддувом. Если это проблема, ее можно решить, сделав крышку сверху клапана холодного пуска и подводя давление от коллектора в эту крышку. Крышка может быть приклеена к карбюратору высококачественным эпоксидным клеем.

### Карбюраторы для систем с продавливанием воздуха.

Почти любой карбюратор может быть подготовлен к использованию в системе турбонаддува с продавливанием воздуха. Однако некоторые карбюраторы требуют серьезной подготовки, в то время как другие более удобны в использовании. Изготовители, такие как Weber, Mikuni, SK, Dellorto, и Holley, выпускают карбюраторы, которые, при соответствующей подготовке, будут хорошо работать в системе турбонаддува с продавливанием воздуха. Самый простой для использования карбюратор конечно горизонтальный Mikuni серии PNH с двумя камерами. Они могут рассматриваться для применения на V-8 и V-12, а также на любом рядном двигателе. Mikuni PNH подходит настолько хорошо насколько это возможно. Он прост в настройке, хорошо отзывчив на низких оборотах, пропускает достаточно воздуха и очень надежен. Новый карбюратор SK фактически равноценен ему, с несколько большими возможностями для настройки. В тех ситуациях, когда невозможно использовать горизонтальные карбюраторы с двумя диффузорами, нужно рассмотреть Вебер IDF с падающим потоком. Хотя IDF требует дополнительной подготовки, он имеет широкие возможности, отзывчивый, хорошо работающий карбюратор. Возможно карбюраторы самого высокого качества изготавливаемые сегодня – это итальянские Dellorto. Имеются модели и с падающим потоком и горизонтальные, эти карбюраторы действительно замечательный пример

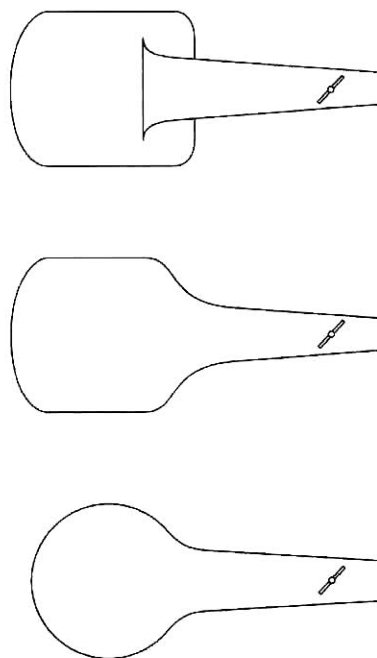


Рис. 8-15. Патрубки из коллектора к дроссельной заслонке должны иметь воронкообразную форму, как можно более идеальную форму для отверстия впуска воздуха.

работы. Выбрав их для использования, гарантируйте себе наличие запасных частей. Карбюраторы Holley успешно используются на протяжении многих лет, и Holley предлагает широкий ассортимент для выбора. Никто из производителей не приблизился к Holley в создании специально настраивающихся узлов и частей для удовлетворения любых требований. Карбюраторы Motorcraft с двумя диффузорами

универсальны и легко могут быть подготовлены для системы с продавливанием воздуха.

### **Конструкция ресивера.**

Ресивер это узел, который сосредотачивает воздух для его прохождения через карбюратор. Хотя ресиверы просты по своей концепции, в их конструкции должны соблюдаться несколько правил:

- объем ресивера должен составлять 110-120 % рабочего объема двигателя.
- необходимо спрямлять воздушный поток перед распылительным устройством карбюратора. Завихрения воздуха около распылительного устройства мешают его нормальному функционированию.
- необходимо иметь форму канала на входе в карбюратор близкой к идеальной.
- не направлять воздух непосредственно поперек диффузора карбюратора.
- необходимо обеспечить подачу воздуха в поплавковую камеру.

### **Итоги главы**

*Имеются ли проблемы со смесеобразованием при работе на холостом ходу и низкой температуре окружающей среды?*

Системы турбонаддува с протяжкой воздуха имеют длинный, искривленный путь для топливовоздушной смеси, прежде чем она достигнет цилиндров. Если теплота не подводится в месте крепления карбюратора или в районе нижней точки системы, топливо конденсируется перед турбонагнетателем. На практике подогрев карбюратора позволяет двигателю устойчиво работать на холостом ходу и нормально управляться на низких оборотах, когда температура окружающей среды меньше 25С. При работе с наддувом существуют такие завихрения потока, что конденсирование топлива становится невозможным. Проблемы можно полностью избежать используя компоновку с продавливанием воздуха через карбюратор.

*Являются ли системы с продавливанием воздуха технически и функционально работоспособными?*

Да. Если Вам нужны доказательства, покатайтесь на Lotus Esprit Turbo.

*Имеются ли противоречия между системами с протяжкой и продавливанием воздуха?*

Да. Системы с продавливанием воздуха имеют лучший запуск, устойчивый холостой ход, хорошо работают на низких оборотах и обеспечивают быстрый отклик на педаль газа и меньшие вредные выбросы. Промежуточный охладитель может использоваться только в системах с продавливанием воздуха. Системы с протяжкой воздуха –дохлый номер.



---

# События в камере сгорания

Настоящие испытания двигателя с турбонаддувом и его способность развивать огромную мощность (и при этом не оставлять облако синее - серого дыма и/или алюминиево-стальной шрапнели) сводятся к тому, что происходит в камере сгорания. Воспламенение смеси, составленной в правильной пропорции в нужное время - кульминация всех конструкторских усилий, вложенных в систему. Когда это событие происходит правильно, начинается веселье.

## Напряжение

Воспламенение топливо-воздушной смеси в высоконапорном двигателе с турбонагнетателем затруднено. Причина в том, что воздух является диэлектриком. Чем плотней воздух в камере сгорания, тем большее напряжение требуется подвести к электродам свечи для образования искры. Мало того, что требуются высокие напряжения, но и все элементы, которые передают высокое напряжение, должны быть изолированы материалами высокой диэлектрической прочности. Это даст уверенность, что напряжение действительно будет подано на электроды свечи зажигания, а не на клапанную крышку двигателя. Требования к качеству этих узлов достаточно жесткие из-за высоких напряжений в системе зажигания.

Большинство современных серийных систем зажигания имеют достаточное напряжение, чтобы воспламенить смесь при небольшом наддуве, при давлении около 0,5 – 0,6 бара. Большие давления наддува, скорее всего, потребуют установки более мощной системы зажигания, чтобы обеспечить правильное искрообразование. В любом случае если ресурс свечи зажигания значительно уменьшается, будет необходима более мощная система зажигания.

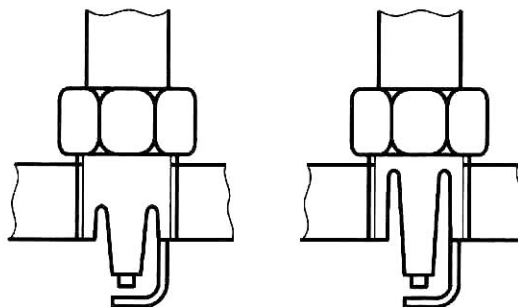
## Свечи зажигания

Выбор свечи зажигания для двигателя с турбонаддувом достаточно прост. Диапазон рабочей температуры свечи - главный критерий для правильного выбора. Классификация свечей по их диапазону ра-

бочей температуры не имеет никакого отношения, когда или как они обеспечивают зажигание смеси. "Диапазон рабочей температуры" означает только то, как особенности конструкции свечи позволяют ей отводить теплоту от электрода.

Представьте, что желательно иметь одну и ту же температуру для элементов свечи независимо от величины нагрузки на двигатель. Тогда свеча зажигания для низкооборотистого, с низкой нагрузкой, с низкой степенью сжатия двигателя должна медленно отводить теплоту от электрода, иначе свеча будет работать при слишком низкой температуре.

*Рис. 9-1. Разница между «холодной» и «горячей» свечой зажигания состоит в том, как быстро теплота отводится от центрального электрода.*



Такая свеча называется "горячей" свечой зажигания. Наш двигатель с турбонаддувом, само собой, должен иметь свечи, которые отводят большое количество теплоты от электрода. Такая свеча, называется «холодной». Желательно, чтобы свеча была достаточно горячей для непрерывно сжигания сажи и отложений, но в то же время достаточно холодной, чтобы предотвратить быстрое разрушение элементов свечи. Свеча, которая работает при слишком высокой температуре, может сама служить источником зажигания, которое фактически начнет воспламенение до возникновения искры зажигания. Это - преждевременное зажигание, и оно может привести к детонации.

При практическом выборе свечей для высоконапорного двигателя с турбонаддувом, нужно начать со свечей приблизительно на два пункта более холодных, чем штатные. Если свеча быстро приходит в негодность, попробуйте на три пункта более холодную. Если свеча быстро загрязняется и воспламенение ухудшается, придется взять на один пункт более горячую свечу.

Правильная установки свечей также вносит свой вклад в качество их работы и долговечность. Вся резьба и шайбы должны быть полностью очищены. Необходимо нанести небольшое количество непригорающей или молибденсульфидной смазки на резьбу и между шайбой и свечей. Затягивайте свечи с моментом, указанным изготовителем, и Вы сделаете все, что можете для долгой работы свечей зажигания.

### Установка угла опережение зажигания

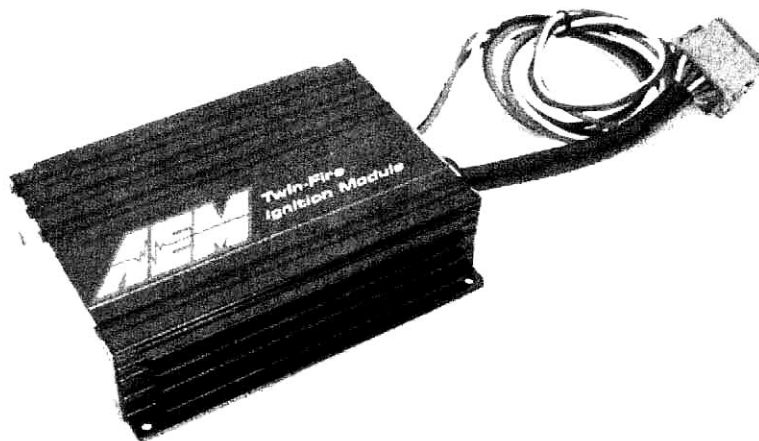
Воспламенение смеси в нужное время – еще одна задача. Двигатель с турбонаддувом накладывает дополнительные требования к моменту зажигания. Турбулентные смеси горят быстрее, чем обычные, но смеси с более высокой плотностью горят медленнее. Являясь противоположными и запутывающими, эти свойства создают ситуацию, в которой нет необходимости воспламенять смесь раньше. Поэтому кривая зажигания может обеспечить небольшое уменьшение угла опережения

зажигания при повышении наддува, когда смесь становится и более плотной и более турбулентной. Правильная установка угла опережения зажигания в любом случае возможна, только если кривая опережения зажигания может быть построена в соответствии с топливной кривой. При сегодняшних технологиях это может быть выполнено только с aftermarket системами управления двигателем. В настоящее время многие системы управления двигателем могут управлять и кривыми зажигания и топливными кривыми.

### Электронное управление опережением зажигания

Управление опережением зажигания, в зависимости от давления наддува обеспечивает ограниченную степень приспособляемости к системе зажигания, работающей на двигателе с наддувом. Это устройство может также оказаться полезным в обеспечении большего угла опережения зажигания на низкой скорости и в условиях простой поездки, в то же время, уменьшая опережение на максимальных оборотах при высоком давлении наддува. Опережение зажигания может легко быть оценено только как защитная мера, но это не совсем так. Оно также позволяет выполнить приблизительную настройку зажигания на участке высоких оборотов соответственно октановому числу топлива. При управлении углом опережения по давлению наддува существует одно неудобство: система пропорционально уменьшит угол опережения зажигания при увеличении наддува, даже при отсутствии детонации. Поэтому, опережение зажигания будет меньше оптимального в точках средней нагрузки, в то время как при максимальном наддуве опережение оптимально. Это переводит к заметной потере крутящего момента на средних оборотах. Меньшее количество момента + меньшее количество мощности = меньшее количество веселья.

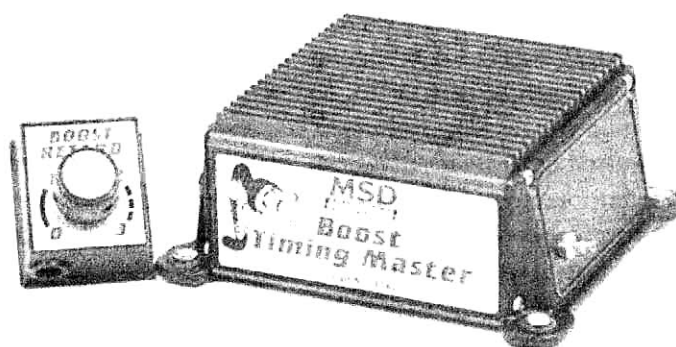
Рис. 9-2. Программируемая система зажигания от АЕМ.



### Датчик детонации

Система управления углом опережения зажигания, работающая по давлению наддува, может быть названа пассивным устройством, которая не обнаруживает явление, которое она должна предотвратить. Она управляет углом опережения зажигания, основываясь на давлении наддува и настройках опережения. Система управления углом опережения зажигания с датчиком детонации, может быть названа активным устройством, потому что она обнаруживает это явление и затем работает для его устранения. Датчик детонации делает превосходную работу по изменению опережения зажигания, когда обнаружена детонация. Это означает, что развивается максимальная безопасная мощность при заданных в этот момент условиях.

*Рис. 9-3. Регулируемая, с управлением от давления наддува, система управления углом опережения зажигания от MSD.*



Например, увеличьте октановое число топлива, и установки угла опережения зажигания увеличатся, в то время как мощность возрастет. Датчик детонации – защитное устройство от перерегулирования, которое меньше всех заинтересовано в достижении максимальной мощности. Если бы он использовался при абсолютно правильных условиях, датчик детонации остался бы спокойно на заднем плане и никогда не был бы необходим. Никогда, то есть пока кое-что не пошло не так как надо... неправильно... неправильно. Установки зажигания, контролируемые датчиком детонации, не дают характеристик, позволяющих достигать максимальной мощности. Проверка системы на работоспособность, как часто заявлено в инструкциях по эксплуатации, заключается в постукивании по блоку цилиндров молотком. Если датчик обнаруживает детонацию и уменьшает опережение, явно заметное по оборотам двигателя, он работает как было задумано. Понятно, что стук по блоку двигателя это не детонация. Почему, тогда, угол опережения зажигания должен быть уменьшен? Возможно, что камень, ударивший по блоку мог также уменьшить угол опережения зажигания? А что будет при неисправном гидрокompенсаторе, подшипнике водяного насоса или сломанном креплении генератора? Необходимо иметь в виду, что уменьшение опережения зажигания приводит к росту температуры отработанных газов. Это недопустимо, если детонации фактически нет. Будет, вероятно, небольшим преувеличением, если сказать, что быстрое движение по длинному гравийному участку могло бы вы-

звать уменьшение угла опережения зажигания, вызвавшее разрушение двигателя.

Механические шумы двигателя, работающего на высоких оборотах, могут вызвать активацию некоторых датчиков детонации, в то время когда никакой детонации на самом деле нет. Тогда они становятся системой управления углом опережения зажигания, зависящей от оборотов, которая нам не нужна.

Развитие датчика детонации в полнофункциональный компьютер, который делает то, что сообщает ему делать его программное обеспечение - наиболее оптимистичный прогноз. Такие разработки постоянно появляются и работают все лучше и лучше. Разработка программного обеспечения является ключевым моментом. Перечисленные недостатки датчика детонации не всегда имеют место. Однако, необходимо рассмотреть эти возможности после приобретения системы регулирования и использования датчика детонации.

Много можно сказать и о положительных сторонах датчика детонации. Вклад, который он может сделать, нельзя недооценивать. Большинство построенных турбодвигателей не являются системами с максимальными характеристиками; поэтому, небольшой компромисс с мощностью не будет критичен. В целом, датчик детонации, вероятно лучшее решение для управления установками угла опережения зажигания.

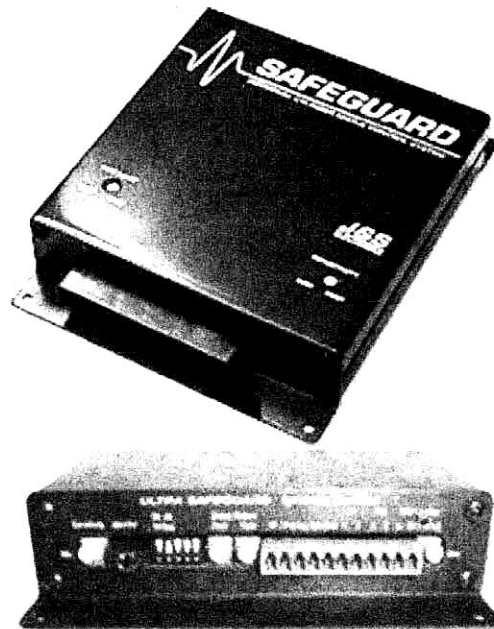


Рис. 9-4. Система обнаружения детонации Safeguard от J&S Electronics.

## Топливо

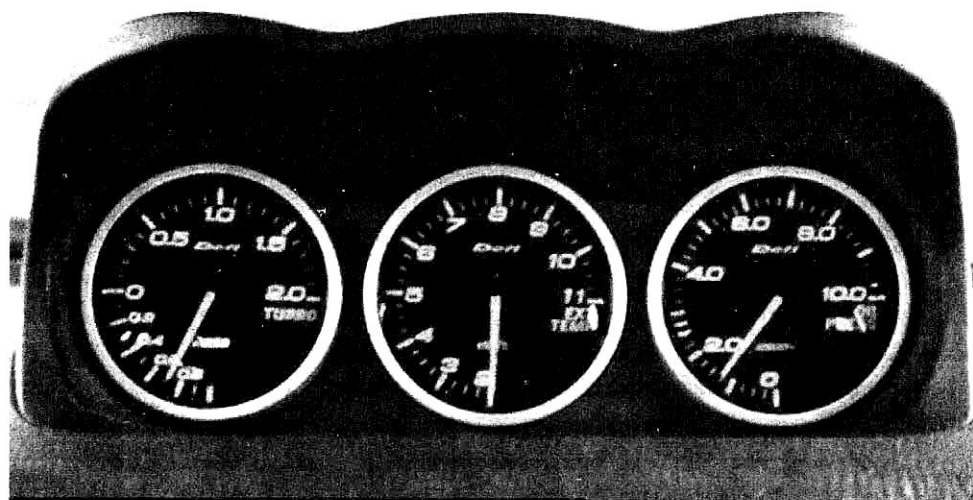
Качество топлива, используемого в процессе сгорания - ключ к хорошему функционированию мощных двигателей с турбонаддувом. Высокое октановое число, качественный состав, и высокая скорость горения - характеристики, отличающие хорошее топливо для турбодвигателя. Октановое число топлива является критерием сопротивления детонации и проверяется в ходе лабораторных испытаний. Качествен-

ный состав означает производство бензина без нежелательных примесей, часто упоминаемых как "бак плохого бензина". Скорость горения это только относительный коэффициент, характеризующий сгорание топлива. Скорость горения оказывает существенное влияние на детонационную стойкость топлива и камеры сгорания. Если скорость горения может быть значительно увеличена, небольшие количества смеси, скрытые в дальних участках камеры сгорания не будут иметь времени, чтобы перегреться и взорваться.

При упоминании углеводорода, называемого толуол, турбонаддув предстает перед нами в новом интригующем свете. Толуол – дистиллят нефти, обычно называемый метил-бензолом. Он – двоюродный брат бензина. Один интересный факт – это один из компонентов тринитротолуола. Это не подразумевает его высокую мощность, это просто интересный факт. Он имеет настолько высокую скорость горения, что могут использоваться давления наддува, бросающие вызов воображению. Толуол был легендарным автомобильным "ракетным топливом" Формулы 1 середины восьмидесятых. Четырнадцать сотен лошадиных сил с полутора литров объема при давлении наддува 5 бар действительно требовали чего-то действительно необыкновенного. Подумайте об этом на мгновение с небольшим юмором. Mazda Miata с двигателем мощностью 1400 л.с. движется действительно быстро, чтобы возразить это. Или гоночный автомобиль NASCAR серии stock car на кубке Уинстона с 5800 л.с. Действительно интересный способ получения удовольствия. Михаэль Шумахер мог бы только мечтать о таком. В практическом использовании коммерческого топлива, октановое число становится наиболее важным вопросом.

В общем случае три пункта в увеличении октанового числа обеспечат приблизительно 0,15 бара увеличения наддува, конечно, при неизменных других условиях. Повторно смешанные бензины, содержащие алкоголь, вообще не очень подходят для использования с турбинами. Присадки к топливу для увеличения октанового числа широко распространены и должны рассматриваться как жизнеспособный способ для достижения больших уровней давления наддува. Добавляемое количество зависит от марки, так что будет разумным следовать рекомендациям изготовителя. Единственным недостатком присадок, увеличивающих октановое число, кроме их стоимости и сложного об-

*Рис. 9-5. Хорошие измерительные приборы показывают, как функционирует система. Приборы Defi стали одним из эталонов точности и функциональности.*





---

ращения с ними, является невозможность длительного хранения после смешивания с бензином. Эту проблем решить несложно.

### Итоги главы

*Какой вид топлива я должен использовать?*

Вы можете использовать самое низко-октановое топливо, которое обеспечит отсутствие детонации на самом высоком уровне наддува, установленном на вестгейте. В действительности, это означает самое высоко-октановое топливо, располагаемое в настоящее время. В двигателях, оборудованных системой управления опережением угла зажигания с использованием датчика детонации, мощность сильно зависит от октанового числа. Чем выше октановое число, тем меньше вероятность возникновения детонации, следовательно, больше угол опережения зажигания.

*Действительно ли необходима специальная система зажигания для двигателя с турбонагнетателем?*

Штатные системы зажигания практически всегда подходят для применения с турбонагнетателем. Однако у специальной системы зажигания есть следующие положительные стороны:

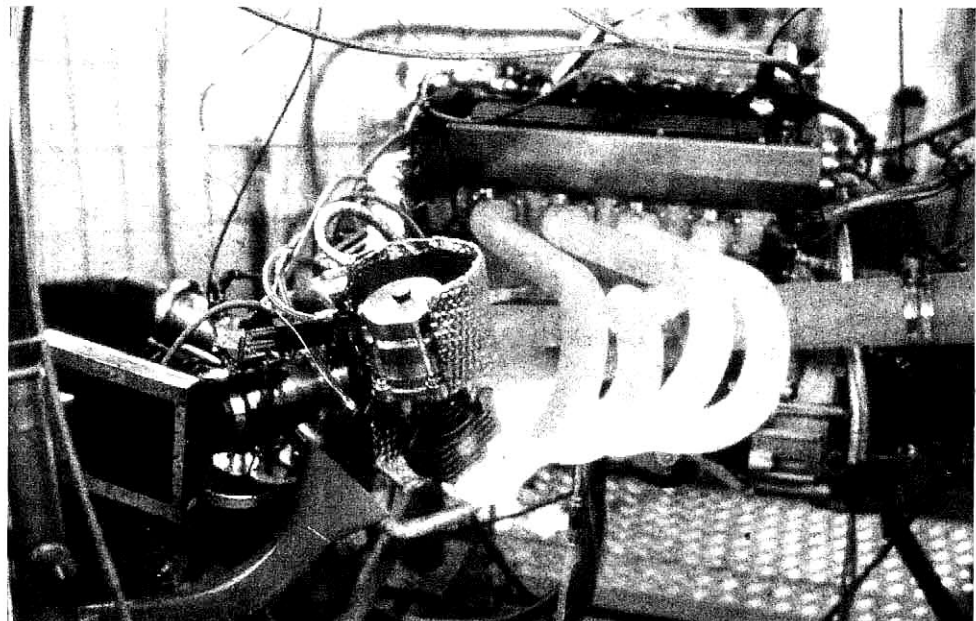
- увеличенный ресурс свечи зажигания.
- ровная работа двигателя при высокой нагрузке, из-за уменьшения пропусков зажигания (незначительно, чтобы почувствовать это).
- управляемое по уровню наддува опережение зажигания для большей защиты от детонации и/или более высокого уровня давления наддува.

---

# Выхлопной коллектор

Выпускной коллектор играет важную роль в характеристиках системы турбонаддува. Выпускной коллектор турбонагнетателя должен выполнять много различных задач. Прямые обязанности включают крепление турбонагнетателя, направление выхлопных газов к турбине, обеспечивая устойчивое прохождение импульсов давления выхлопных газов, не допуская утечки теплоты сквозь стенки. Выполнять эту повседневную работу, накалившись до вишневого цвета, и при этом оставаться прямым, не покрываться трещинами, и держать турбину год за годом - это не простая задача. У выпускного коллектора трудная жизнь.

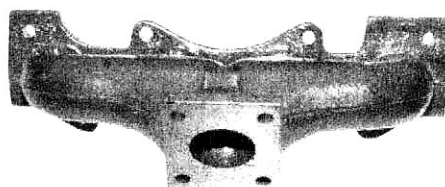
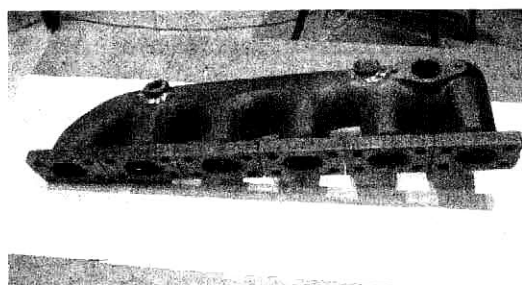
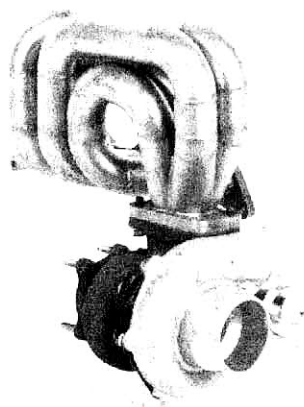
*Рис. 10-1. Выхлопному коллектору приходится работать в очень тяжелых условиях. Выхлопной коллектор турбодвигателя BMW Formula 1.*



## Назначение

Назначение автомобиля, будь то соревнования или уличное применение, значительно влияет на выбор материалов, конструкцию, и спо-

соб изготовления. Любая высокофорсированная система турбонаддува будет конфигурироваться вокруг коллектора трубчатой конструкции. Одноразовые проекты, по одним только причинам стоимости, должны быть изготовлены таким же образом. Литые коллекторы являются очевидным выбором когда необходимо сделать большое количество изделий.



*Рис. 10-2. Вверху слева: Сварной коллектор для Lancia Delta 2.0 L turbo. Вверху справа: Литой выхлопной коллектор для рядного шестицилиндрового двигателя. Обратите внимание на фланец для установки вестгейта.*

*Слева внизу: Литой коллектор для мотора Honda серии B.*

*Справа внизу: Литой коллектор для Volkswagen Golf GTI VR6.*

## Критерии конструкции

### Удержание теплоты.

Понятно, что характеристика турбины в некоторой степени определяется температурой отработанных газов. Тогда будет разумным приложить некоторые усилия к передаче выхлопных газов из камеры сгорания к турбине с наименьшей возможной потерей температуры. Это совершенно понятно, хотя необходимо рассматривать прочность материалов при повышенных температурах и должен быть реализован какой-либо способ охлаждения. Удельная теплопроводность материала характеризует способность этого материала проводить тепло. Так как наша цель - удержать теплоту внутри коллектора, нужно стараться использовать материалы с наименьшей теплопроводностью.

### Выбор материала

**Нержавеющая сталь.** Этот материал предоставляет нам интересную комбинацию свойств. В первую очередь это низкая удельная теплопроводность. Нержавеющая сталь - превосходный выбор. Она легко

сваривается, трещиностойкая и с ней относительно легко работать. Все нержавеющие материалы имеют очень высокий коэффициент теплового расширения; таким образом, конструкция, компоновка и толщина коллектора из нержавеющей стали должны быть продуманы с учетом этой особенности материала. Например, нержавеющий фланец с точно просверленными отверстиями для болтов крепления диаметром 8 мм, прикрученный к головке блока, срежет половину болтов при первом же прогреве двигателя. Поэтому под болты необходимы отверстия большего диаметра, чем обычно. Нержавеющая сталь имеет высокую коррозионную стойкость. Из-за этого и ее низкой теплопередачи она заслуживает серьезного рассмотрения в качестве материала для эффективных выпускных коллекторов.

**Чугун.** Сплавы железа дают конструктору простор в действиях. При грамотном подходе из них могут быть отлиты весьма сложные формы.

Пределы совершенства зависят от способностей модельщиков. Литейный процесс – единственный жизнеспособный способ изготовления выпускных коллекторов самых разнообразных форм. Опытный и вдумчивый конструктор может воспользоваться этими преимуществами материала, чтобы разработать коллектор отличающийся низкой площадью поверхности, тонкостенный, с плавными формами и постоянным проходным сечением.

Существует множество марок чугуна, но возможно наиболее полезный для конструирования выпускного коллектора сплав, названный "пластичное железо". «Пластичное железо» имеет характеристики хорошей трещиностойкости и стабильности формы при высокой температуре, хорошую обрабатываемость на станке, и при этом относительно высокую прочность.

Литые коллекторы остаются территорией крупных производителей из-за сложностей при создании необходимых моделей и оснастки.

**Обычная нелегированная сталь.** Хотя обычная сталь не имеет никаких особенных свойств, которые делали бы ее идеальным выбором в качестве материала выпускного коллектора, она действительно хорошо подходит для этого. Этот материал недорог, легок в обработке и сварке, и доступен в широком ассортименте размеров и форм. Возможно его наихудшее качество – низкая коррозионная стойкость. Его можно значительно улучшить хромированием. Применяйте хромирование промышленного качества, которое является во много раз более толстым, чем декоративный хром. Возможно, лучше, чем хром некоторые из современных керамических покрытий.

**Алюминий.** Из-за низкой высокотемпературной прочности алюминия и высокого коэффициента теплопроводности, исключите его из списка материалов для автомобильного выпускного коллектора. В некоторых конструкциях лодочных моторов алюминиевый выхлопной коллектор с водяной рубашкой охлаждения становится идеальным выбором.

### **Тепловые Характеристики**

Толщина стенок выбранного материала будет существенно влиять на теплопередачу, при этом, чем толще материал, тем быстрее тепло переместится сквозь него. На первый взгляд это противоречит логике,

но если рассмотреть, как быстро теплота была бы отведена из бесконечно толстого алюминиевого коллектора с высокой теплопроводностью, и из наоборот очень тонкого коллектора из нержавеющей стали окруженного хорошим изолятором, таким как воздух, станет понятно, что скорость теплопередачи прямо пропорциональна площади поверхности. Поэтому разумно приложить усилия для минимизации площади открытой поверхности выпускного коллектора. Ясно, чем меньше площадь поверхности, тем меньше теплоотдача. Сокращение количества окружающего воздуха, обтекающего выпускной коллектор и турбонагнетатель понизит теплоотдачу от системы. Вообще не выполнимо непосредственно обернуть выпускной коллектор теплоизолирующим материалом, поскольку материал коллектора сам перегреется до разрушения конструкции.

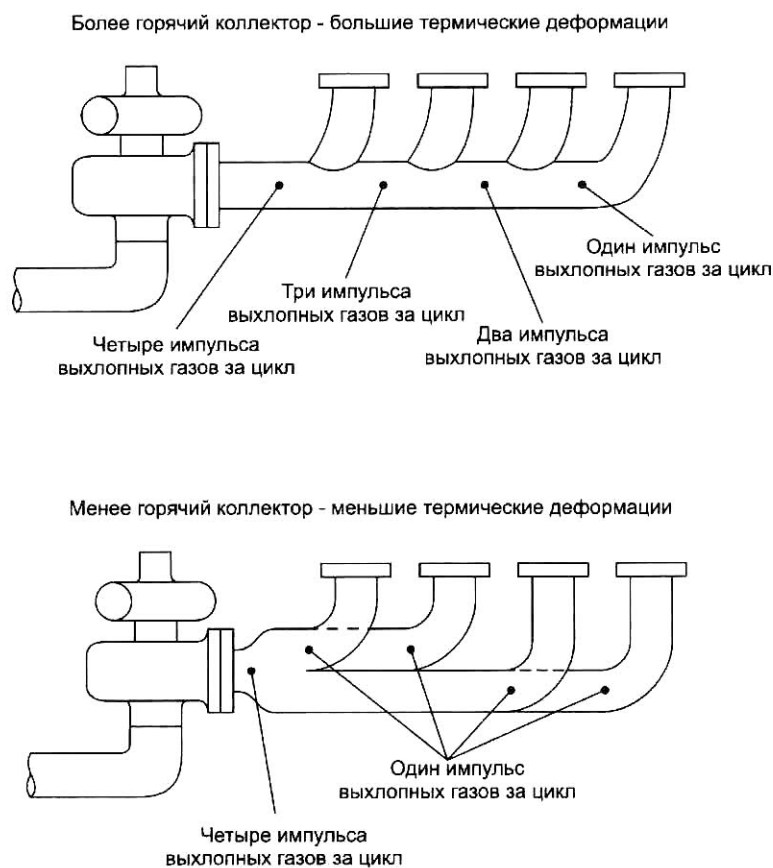


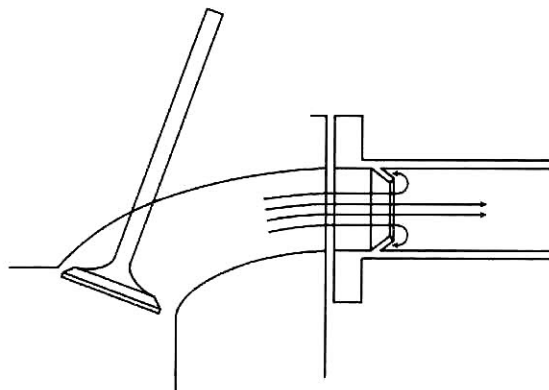
Рис. 10-3. Конструкция может оказать влияние на долговечность выпускного коллектора. Коллектор последовательной конструкции будет испытывать большие тепловые нагрузки и тепловое расширение чем коллектор параллельной компоновки. Перекрытие тепловых импульсов в коллекторе последовательной конструкции создает дополнительные места сильного нагрева и большее тепловое расширение.

Также на теплопередачу из выпускного коллектора влияет распределение температуры внутри коллектора. Мест сильного нагрева внутри коллектора нужно избегать, потому что они являются участками повышенной теплопередачи. Такие участки образуются в местах пересечений труб или из-за прохождения большого числа выхлопных импульсов через один участок коллектора. Имейте в виду, что перепад температур между внутренней и наружной поверхностями коллектора - сила, которая переносит тепло сквозь стенки коллектора.

### Реверс потока

Обратный ход потока отработанного газа назад в камеру сгорания в течение перекрытия клапанов назван реверсом. Создание аэродинамического барьера, который понижает противоток, но в то же время не препятствует выходу отработанных газов, может улучшить характеристики.

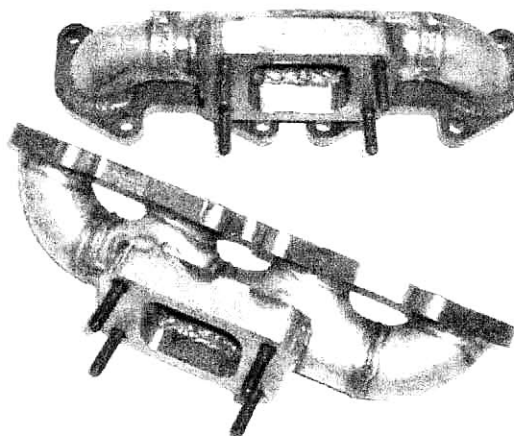
Рис. 10-4. Противореверсивный конус может обеспечить снижение реверса отработанного газа, в течение перекрытия клапанов. Конус создает частичный барьер для обратного хода потока.



### Компоновка коллектора

При выборе компоновки выхлопного коллектора существует достаточно большая свобода выбора, начиная от простой последовательной компоновки, до компоновки с трубами равной длины, с несколькими трубами, компоновки с индивидуальными трубами.

Рис. 10-5. Сварной коллектор для 8-цилиндрового двигателя Audi.



Было проведено множество исследований для определения выигрыша в характеристиках от различных компоновок коллектора. Большинство этих исследований, плюс огромные усилия, потраченные в турбо эру Формулы 1, ясно показывают, что лучший выхлопной коллектор – трубчатый с индивидуальными трубами.

Размеры труб. Почти все проекты по турбонаддуву используют существующий двигатель. Поэтому, выбор размеров трубы обычно дик-



*Когда есть выбор между размерами трубы, всегда выбирайте меньший, для обеспечения высокой скорости газов.*



Рис. 10-6. Хороший образец сварного трубчатого коллектора для двигателя Toyota 2JZ-GTE.

туется размером порта и размером входа турбины на турбонагнетателе. Когда нет четкого выбора, лучше выбрать меньший из располагаемых размеров, для увеличения скорости отработанных газов.

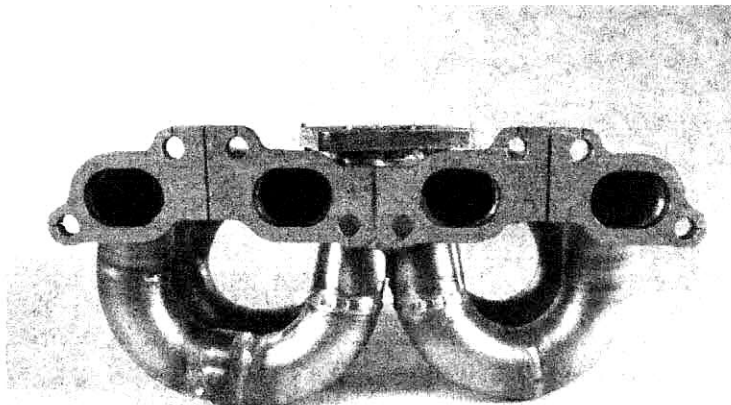
Прочность коллектора будет в значительной степени зависеть от толщины стенок. В коллекторе с толщиной стенок менее 2 мм, может потребоваться подкос или небольшая траверса для поддержки турбонагнетателя. Тепловое расширение коллектора будет вызывать перемещение турбонагнетателя при циклическом изменении температуры. Таким образом, крепление должно иметь некоторую степень подвижности и в то же время служить опорой турбонагнетателю. Гнутые трубы имеются в широком ассортименте, чтобы удовлетворить запросы изготовителя выхлопного коллектора. Они являются высококачественными изделиями и могут быть применены в любом самом замысловатом изогнутом коллекторе для турбонагнетателя, который только можно вообразить.



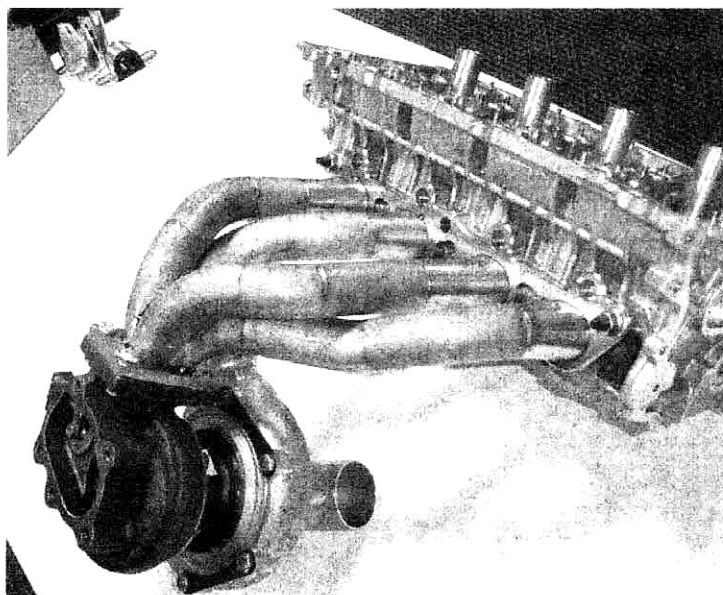
Рис. 10-7. Другой пример литого коллектора для VW Golf GTI VR6. Обратите внимание на разрезы на фланце для уменьшения влияния термических деформаций. Неудачное расположение фланца для вестгейта обусловлено требованиями компоновки турбонагнетателя под капотом переднеприводного автомобиля.

Вариант трубчатого коллектора может быть изготовлен из так называемых цельнотянутых стальных отводов. Отводы применяются в основном в индустриальном гидравлическом оборудовании, используемом обычно в нефтяной промышленности и других подобных тяжелых отраслях. Эти отводы могут быть самых различных размеров и радиусов, и изготовлены или из мягкой стали или из нержавеющей. Хотя они тяжелые и дорогие, отводы могут использоваться, чтобы сформировать хороший высокопрочный коллектор. Отводы подразделяются по размерам согласно номенклатуры труб – то есть по внутренним диаметрам.

*Рис. 10-8. Сварной коллектор для двигателя Nissan SR20. Обратите внимание на разрезы на фланце, для предотвращения деформации при тепловом расширении.*



*Рис. 10-9. Подгонка деталей для сварки, при формировании выпускного коллектора для Lotus Elise turbo.*



### Литой коллектор

Литейный процесс по своей сути достаточно прост, но в то же время сложен из-за затраты на изготовление модели и оснастки. Литые изделия обычно представляют собой коллектор последовательной компоновки – удобный для производства, но не подходящий для достиже-

ния максимальных характеристик. Необходимо понимать, что литой коллектор может обеспечивать очень хорошие характеристики, но он не предназначен для спортивного автомобиля.

### Установка вестгейта

При разработке компоновки выпускного коллектора нужно заранее предусмотреть выход газов и расположение вестгейта. Принципы,

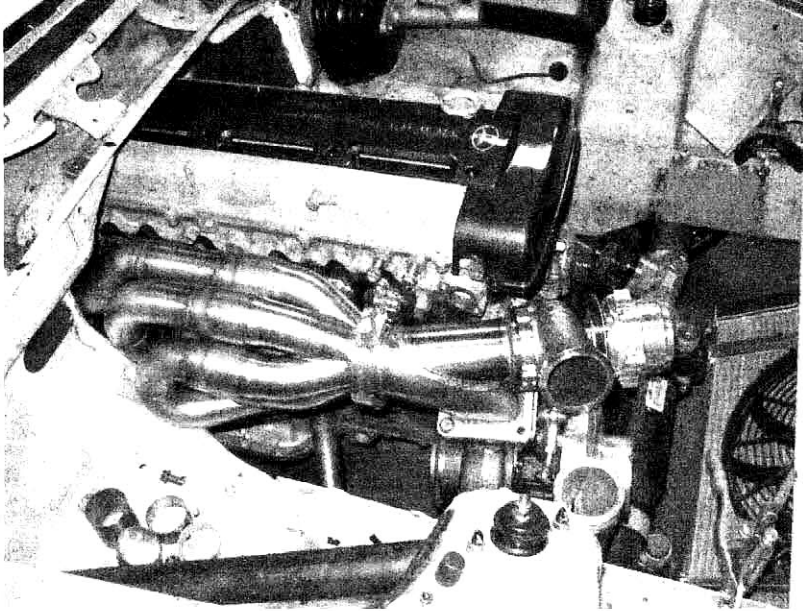


Рис. 10-10. Прекрасный пример интеграции внешнего вестгейта в систему турбонаддува на двигателе Toyota 2JZ-GTE. Для установки турбонагнетателя и вестгейта к выхлопному коллектору присоединена специально изготовленная проставка.

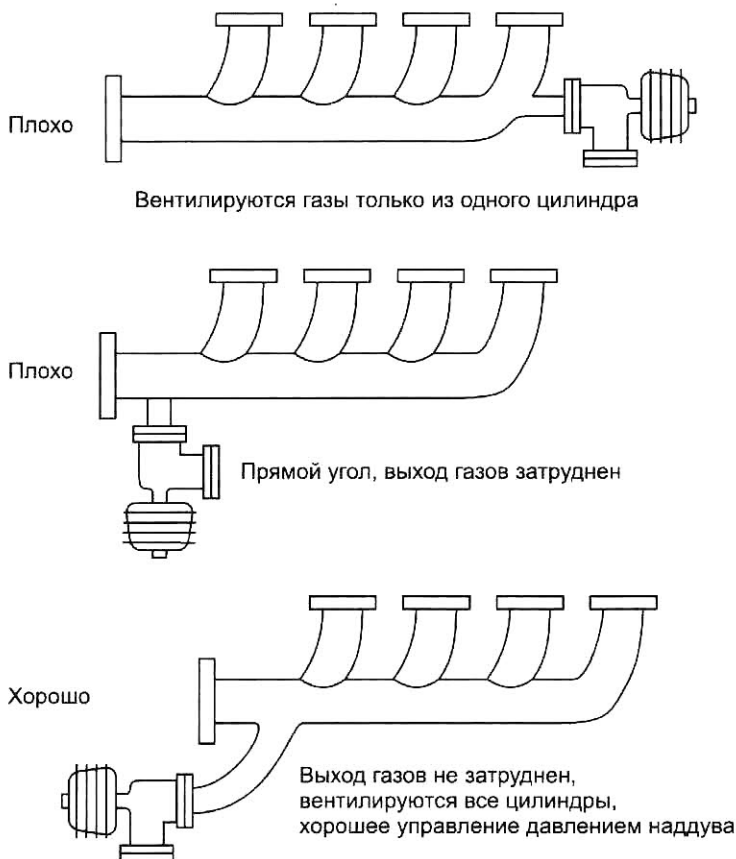


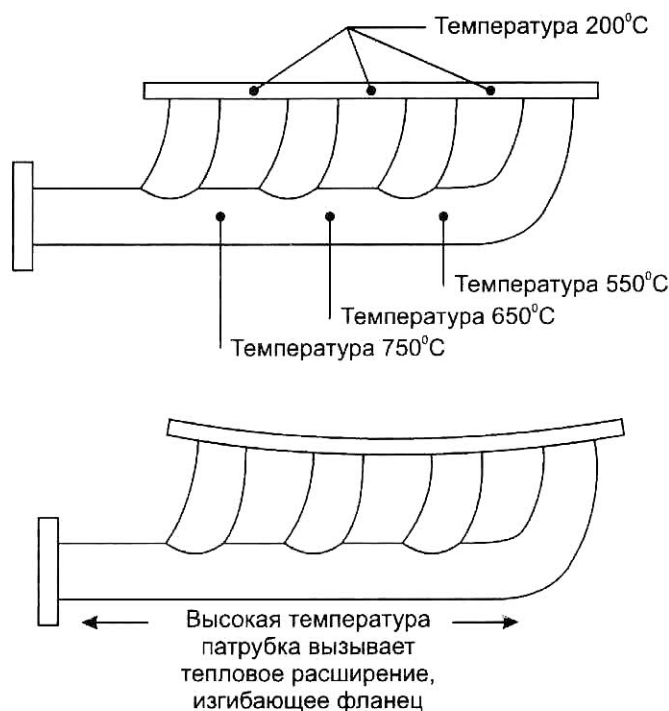
Рис. 10-11. Интегрирование вестгейта в выпускной коллектор

связанные с установкой и внедрением вестгейта в систему, состоят в том, что вход газов в вестгейт должен располагаться после того, как все импульсы выхлопа, направленные в турбонагнетатель, будут объединены в одну трубу.

### Тепловое расширение

В процессе проектирования необходимо учесть изменения формы коллектора при увеличении его температуры от окружающей до рабочей. Тепловая деформация может создавать серьезные проблемы с постоянными утечками выхлопных газов. Деформация вызвана неравномерным распределением температуры в конструкции коллектора. Например, фланец коллектора не будет нагреваться до той же самой температуры как сегмент трубопровода или коллектора, поэтому его размеры не будут значительно изменяться. Эти изменения размеров будут вызывать деформации, если им не уделялось внимания в процессе проектирования. Каждый фланец коллектора, например, должен быть отделен от других.

Рис. 10-12. Температурные деформации: фланец крепления коллектора вынужден деформироваться из-за неравномерного распространения температуры между трубами и фланцем. Для устранения этого необходимо разделить фланец на несколько сегментов по числу выхлопных каналов.



Характеристики теплового расширения требуют внимания к размерам отверстия под болт, особенно в головке цилиндра. Плотные, с жесткими допусками, отверстия для болтов могут действительно вызвать разрушение соединения, нагружая соединители серьезной нагрузкой, когда коллектор достигнет максимальной рабочей температуры. Решение этой задачи - увеличение диаметра отверстия для болта, в зависимости от расстояния до центра коллектора. Это особенно важно, если использованный материал - нержавеющая сталь. На длинных двигателях, например на рядных шестицилиндровых, проектировщик должен рассмотреть использование двух коллекторов, соединенных при помощи гибкого трубчатого соединения. Такой тип

подвижного соединения используется также в авиации и больших индустриальных двигателях.

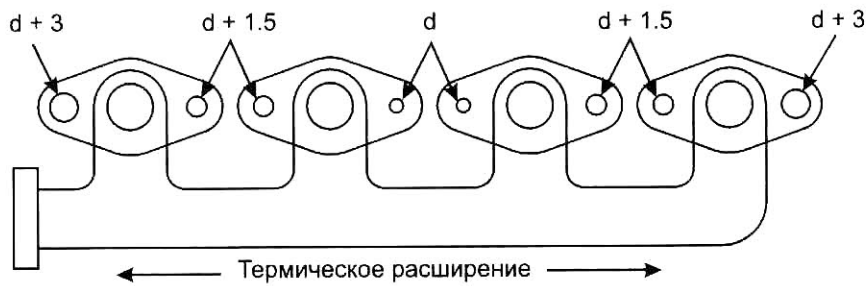


Рис. 10-13. Тепловое расширение может разрушить болты крепления фланцев. Этого можно избежать, выполняя отверстия под болты прогрессивно большего диаметра.

## Соединения

Выбор соединений требуют обдуманного подхода. Теплота, действующая на отдельное соединение, определяет выбор материала, в то время как тип соединения определяет, что будет использоваться для соединения – болт или шпилька.

Соединение элементов при рабочих температурах системы турбонаддува – повод для серьезных размышлений. Почти любая углеродистая сталь сварится при таких температурах. Материал, в конечном счете, окислится до такой степени, что соединительные детали фактически прокорродируют с основным материалом. Кадмирование сгорит при этих температурах. Наиболее разумное решение проблемы соединителей – нержавеющая сталь. Болты из нержавеющей стали хорошо работают при температурах выше 650°С. Ниже этой температуры нержавеющие крепления хороши, но не рентабельны.

В зависимости от типа соединения, возможны три вида соединителей: стяжной болт, шпилька, или болт. Соблюдайте следующие руководящие принципы:

- стяжной болт с гайкой (шатунный болт, например) – всегда первый выбор,
- шпилька, закрепленная в нарезанной резьбе (крепление выпускного коллектора к головке блока, например) – хороший кандидат на второе место.
- Последний и понятное дело худший выбор – болт, завинченный в нарезанную резьбу. Это соединение не может оставаться затянутым, если не защищено контровочной проволокой. Используйте его в последнюю очередь.

Большие толстые плоские шайбы необходимы, так же как и контрящие шайбы. Забудьте об использовании любого вида пружинных контрящих шайб; поскольку они подвергаются воздействию теплоты, они просто спекутся. Контрящие шайбы, с наклонными плоскостями, гребнями, или мелкими зубцами, являются единственными контрящими шайбами, которые останутся в живых.

***Резбовые соединения в системе турбонаддува – потенциальные источники неисправностей. Уделите им ваше особое внимание.***

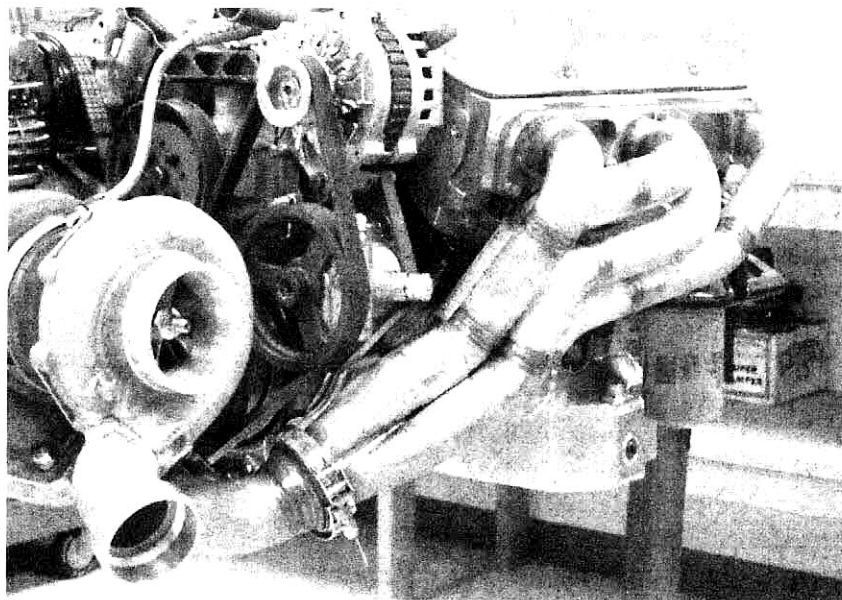
Нержавеющие контргайки способны сохранять затяжку при высокой температуре. Контргайки из медных сплавов не могут противостоять температуре; они просто ослабнут.

### Прокладки

Хотя функция прокладки кажется очевидной, прокладка также может использоваться как своего рода тепловой барьер. Некоторые соединения нуждаются в прокладках для уплотнения, в то время как другие извлекают выгоду исключительно в виде понижения теплопередачи. Сопрягаемые поверхности двух деталей, работающих при относительно одинаковой температуре, не обязательно нуждаются в прокладке. Крепление турбонагнетателя к коллектору – такое соединение. Крепление вестгейта – как раз наоборот, желательно понизить теплоту около диафрагмы вестгейта, тем самым, продлив предполагаемый срок ее службы. Прокладка служит здесь как полезный барьер для тепла. Это то же условие действует в соединении приемной трубы и турбонагнетателя и вентиляционной трубы вестгейта и вестгейта.

Прокладки играют серьезную роль в любой системе выпуска. Присутствие турбонагнетателя не меняет ситуацию. В некоторых случаях, когда позволяет качество станочной обработки, лучшее решение проблемы прокладки это ее отсутствие. Такой вариант особенно жизнеспособен, когда стыкуются две чугунные поверхности. Стальные фланцы толщиной до 12 мм, будут, скорее всего, достаточно прочными, чтобы длительно работать без прокладки.

*Рис. 10-14. Выхлопной коллектор для двигателя Chevrolet V-8 с одним турбонагнетателем.*



Когда очевидно, что прокладка необходима, слоистая прокладка металл/фибра/металл – возможно лучший выбор уплотнительной прокладки и изолятора для высокотемпературной системы турбонаддува. Простая прокладка из нержавеющей стали или отожженной меди – также будет хорошим выбором. Обычно они имеют толщину 0,5-0,75 мм, и могут использоваться с успехом там, где поверхности имеют небольшие неровности, или соединяемые части недостаточно жесткие, чтобы работать без прокладки. Все же это должно рассматриваться



---

только как временная мера. Вообще, фибровых прокладок нужно избегать, поскольку ни один из волокнистых материалов не имеет достаточной долговечности при высокой температуре. Деньги, потраченные на прокладки хорошего качества на металлической основе, избавят от головной боли и утечек в системе выхлопа.

Избавление от прокладок – достойная цель проектирования. При наличии достаточно толстых фланцев и качественной обработки поверхностей большинство прокладок может быть убрано из системы. В мысли, что отсутствующая прокладка не может пропускать газы, есть здравый смысл.

## Итоги главы

*Что представляет из себя хороший выхлопной коллектор?*

Выхлопной коллектор – сложный этап проекта, охватывающий много параметров. Единственный наиболее важный параметр – материал, и чугун – лучший материал для типичных уличных автомобилей. Простая сталь – неудачный выбор, потому что она быстро окисляется при высоких температурах, корродирует, и в конечном счете трескается. Внутреннее спрямление важно, чтобы избежать насосных потерь. Другая критическая сторона конструкции – скорость потока. Отработанные газы не должны ускоряться и замедляться, так как они будут терять значительную энергию, которая могла быть передана турбине. Плавный, с постоянной скоростью поток идеален. Также важно сохранение теплоты. Чем большее количество теплоты может быть сохранено в коллекторе, тем меньше доля тепловой инерции в полной инерционности турбонагнетателя. Конструкция, которая позволяет импульсам отработанного газа достигнуть турбины через регулярные интервалы, идеальна, но трудно воплотима.

*Имеют ли соединения в турбонагнетателе проблемы с надежностью?*

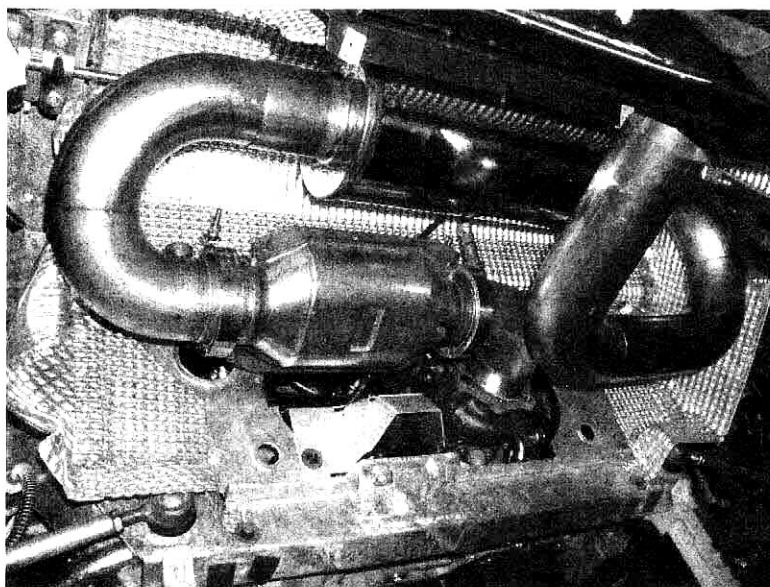
Прокладки между выпускными коллекторами и турбинами часто ненадежны из-за крайне высокой температуры. Наиболее практичное решение этой проблемы – точные плоские поверхности, которые обходятся без прокладок.

---

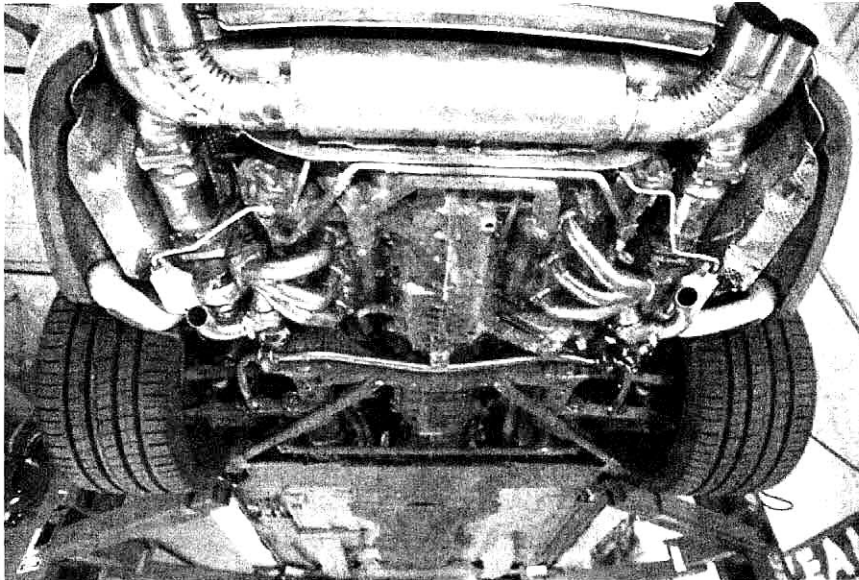
## Система выпуска

Современный автомобиль с турбодвигателем дал новый смысл термину "система выпуска с низким сопротивлением", подразумевающий низкое обратное давление. Современная система выпуска также неизменно имеет каталитический конвертер, с его высоким значением обратного давления. На первый взгляд, эти два пункта имеют некоторые разногласия друг с другом. Однако ситуация немного лучше чем может показаться. Если бы турбонагнетатель мог бы диктовать условия для конструкции системы выхлопа, он бы категорически сказал бы: никакого выхлопа! Если власти могли бы диктовать условия для конструкции системы выхлопа (что они могут делать, делают, и будут делать), они сформулировали бы, что лучшая выхлопная труба – та, из которой ничего не выходит. Где-то между этими двумя несовместимыми требованиями и будет находиться хорошая система выпуска для уличного использования, которая сделает обе стороны счастливыми. Ну ладно, относительно счастливыми.

*Рис. 11-1. Лучший выхлоп для турбонагнетателя - наименьшее количество выхлопа. Выхлопная система автомобиля Lotus Elise.*



Далее мы будем называть системой выпуска все, что располагается после турбонагнетателя. В принципе все турбины требуют специальных выхлопных систем. Штатные, не предназначенные для турбонагнетателя, выхлопные системы не удовлетворяют предъявляемым требованиям. Выхлопные системы сторонних производителей также редко оказываются удовлетворительными. Система выпуска это совокупность оптимизированных, тщательно обдуманных деталей. Цель, которая должна быть достигнута в соответствии с этими требованиями - создание нормально работающей выхлопной системы, имеющей приемлемый уровень шума и низкое противодавление.



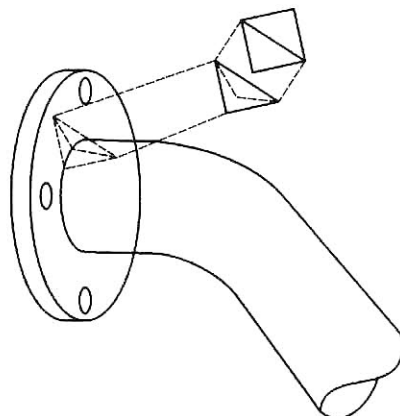
*Рис. 11-2. Турбины не любят противодавление; чем оно ниже – тем лучше. Обратите внимание на отдельные выхлопные трубы за вестгейтами.*

### **Противодавление в системе выпуска – зло.**

#### **Детали конструкции**

#### **Соединение турбины с приемной трубой**

Эта часть системы выпуска подвержена воздействию температуры до  $800^{\circ}\text{C}$ , это причина, которая многое диктует в конфигурации узлов. Возможно это наиболее высоко нагруженная часть системы выпуска.



*Рис. 11-3. Ребра жесткости между каждым соединителем значительно увеличат долговечность соединения фланца и трубы.*

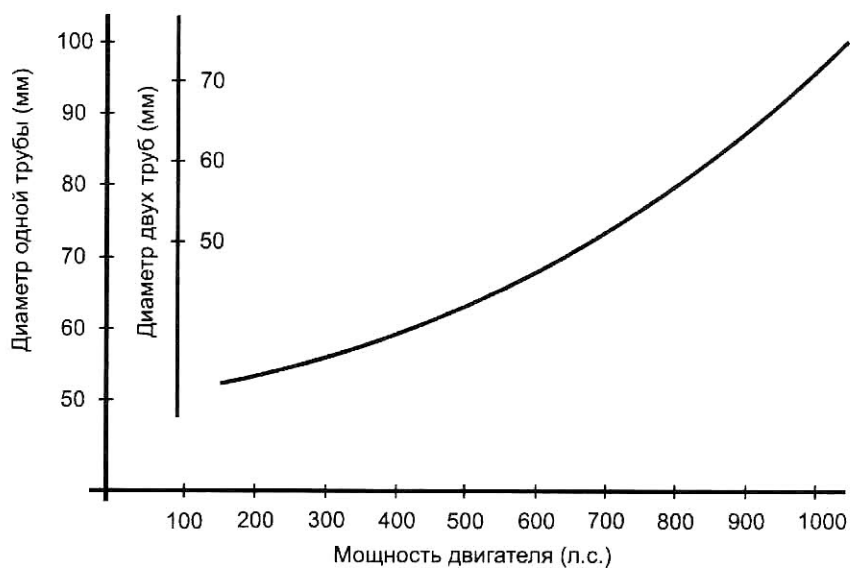
Поэтому, прочность имеет главное значение. Прочность начинается с толщины фланца крепления выхода турбины. Этот фланец может быть толщиной около 12 мм и требует дополнительных ребер или усилителей.

Поскольку фланец не закреплен на своем месте во время сварки, поверхность сопряжения с турбиной нужно обработать до его установки. Сварка вообще вредна для металла. При сварке трубы с фланцем происходит ослабление металла. Решения этой проблемы состоит в том, чтобы приварить трубу внутри фланца сплошным швом, а на внешней стороне выполнить небольшие прерывистые швы.

### Диаметр трубы

При установке труб с большим диаметром в систему выпуска можно переборщить. В этом случае правило "чем больше – тем лучше" не имеет места. Как было сказано в главе "Промежуточное охлаждение", имеется скорость газа, которая не должна быть превышена. Можно предположить, что для расчетов выхлопной системы эта скорость составляет около 80 м/с. Значительное увеличение количества выхлопных газов при увеличении температуры также требует существенного увеличения требуемого объема выхлопной трубы. Поэтому трубы для горячих выхлопных газов должны быть больше чем трубы для впуска воздуха. Основывайте свои вычисления на тех же самых условиях, что и для труб на впуске, но используйте максимальную скорость 80 м/с, а не 140 м/с. Чтобы выбрать требуемый размер выхлопной трубы, Вы можете твердо придерживаться этой скорости выхлопных газов или следовать простому принципу выбора – диаметр трубы приблизительно на 10 % больше чем диаметр выхода турбины. Рисунок 11-4, размер выхлопной трубы относительно мощности, дает хорошее направление для выбора требуемого размера выхлопной трубы.

Рис. 11-4. Приблизительное проходное сечение выхлопной трубы относительно выходной мощности



### Положение катализатора

Наличие в выхлопной системе каталитического конвертера закреплено законодательно. Катализатор должен быть установлен там,

где это предусмотрено конструкцией. Смиритесь с этим, и оставьте его в покое. Современные преобразователи сотовой конструкции не очень ограничивают поток выхлопных газов. Большинство из них создает менее 0,15 бара обратного давления в выхлопной трубе. Это приемлемо.



Рис. 11-5. Стыки фланца приемной трубы не должны быть сварены непрерывным швом на внешней стороне трубы.

При добавлении каталитического конвертера в систему, не оборудованную им предварительно, разместите катализатор так близко к турбонагнетателю насколько возможно, для того, чтобы катализатор мог быстро достичь рабочей температуры.

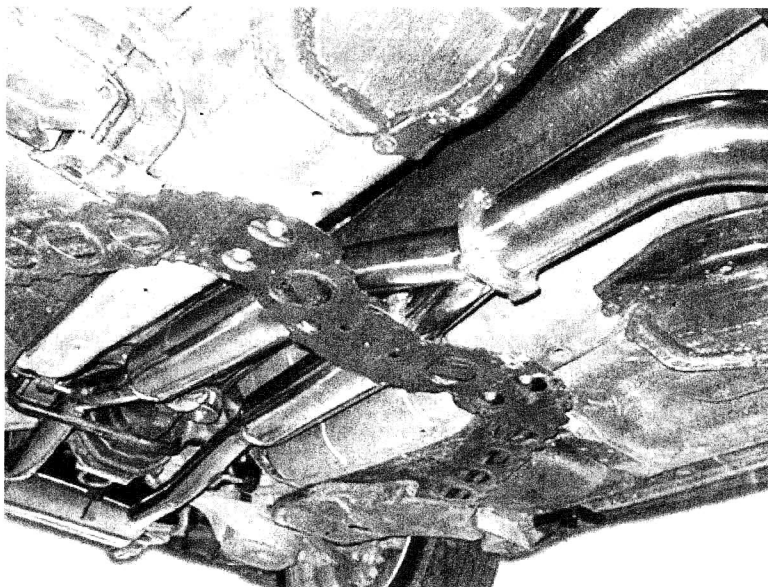


Рис. 11-6. Хороший пример подгонки выхлопных трубопроводов к доступному пространству при обеспечении достаточного требуемого размера трубы и качественных изгибов. Здесь также показано хорошее соединение, объединяющее две отводящие трубы от турбин.

### Положение датчика кислорода.

Датчик кислорода желал бы быть так близко к камере сгорания, насколько это позволяет температура. В большинстве случаев при установке турбонагнетателя датчик кислорода должен быть расположен непосредственно за ним.

### Компенсационные швы.

Широкие температурные колебания, испытываемые выхлопной системой двигателя с турбонаддувом, вызывают несколько большее тепловое расширение, чем оно могло бы быть. Обеспечение подвижности выхлопной трубы, при расширении и сокращении без защемления, становится необходимым для того, чтобы избежать повреждений, вызванных тепловым расширением.

Рис. 11-7. Необходимо обеспечить подвижность выхлопной системы при тепловом расширении для предотвращения образования трещин.

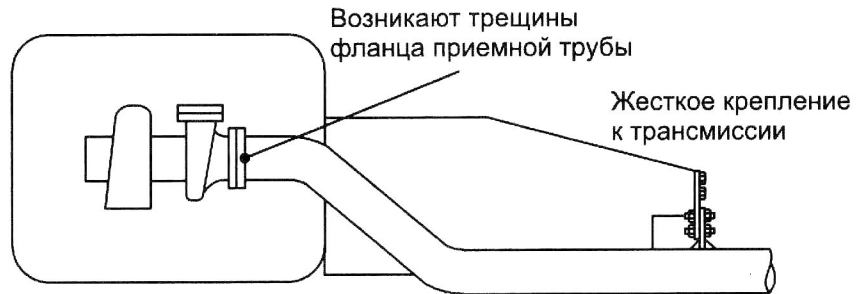


Рис. 11-8. Соединение к трансмиссии должно быть гибким.

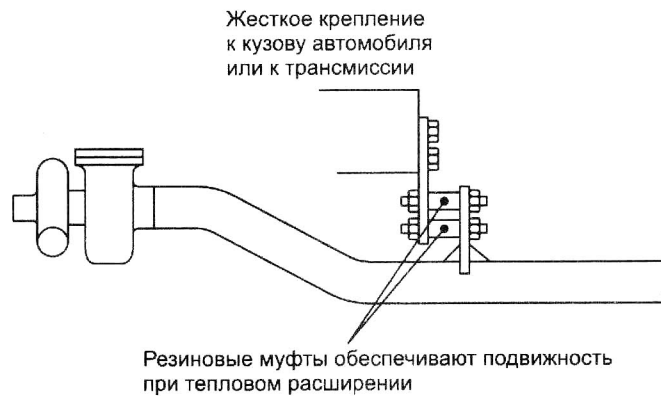
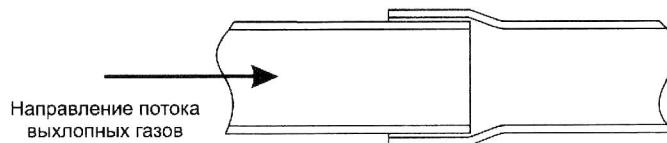


Рис. 11-9. Телескопическое соединение выхлопной трубы самое простое и наиболее универсальное из всех соединений.



Некоторая степень подвижности может быть добавлена в выхлопную систему, в виде хомутов, использованных как соединители для сегментов трубы. Хомуты также допускают небольшую угловую подвижность. Зажим трубы может также служить как крепежный кронштейн.

### Кронштейны

На первый взгляд задача как повесить выхлопную трубу под автомобилем может показаться простой. Вам нужно просто взглянуть на днище Ferrari, чтобы легко понять, что этот вопрос может получить очень серьезный подход. При размещении выхлопной трубы должным образом неожиданно возникают несколько проблем. Вибрация, температура, колебания двигателя, тепловое расширение, и конструкция



кронштейнов – это проблемы, которые должны быть решены прежде, чем Вы получите хорошую долговечную выхлопную систему.

Вибрация может гаситься часто расположенными кронштейнами и подвижными точками. Подвижные точки – гибкие соединения, которые не будут передавать вибрацию. Телескопическое соединение – пример подвижной точки.

Температура будет проблемой в том случае, если уязвимый узел находится в пределах ее распространения. В общем случае, гораздо лучше и проще теплоизолировать узел, который может быть поврежден высокой температурой, чем теплоизолировать всю выхлопную трубу. Теплота может повредить такие вещи как покрытие днища, волокнистые материалы, и окрашенные поверхности. Время, потраченное на поиск таких уязвимых мест, и установка нескольких экранов, будет, в конечном счете, потрачено с пользой. Простой экран из листового металла обеспечит падение температуры на нескольких сотен градусов.

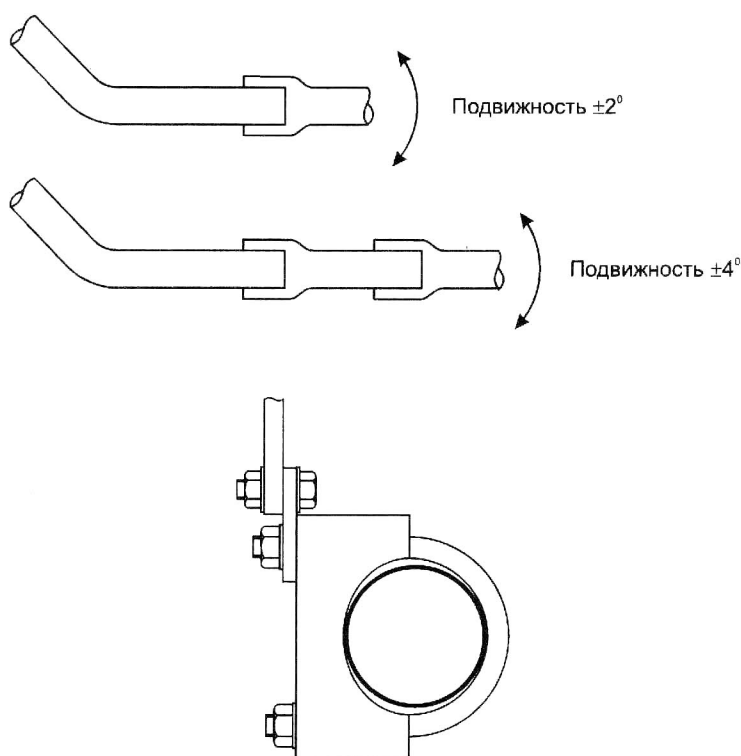


Рис. 11-10. Телескопические соединения могут для обеспечения некоторой подвижности выхлопной системы.

Рис. 11-11. Простой кронштейн с зажимом

### Варианты глушителя, размеры, и количество.

Вообще говоря, глушитель будет единственным самым большим сужением в системе выпуска. К сожалению, требования низкого противодавления и низкого шума обычно имеют разногласия друг с другом. Часто разумный компромисс может быть достигнут при использовании нескольких больших глушителей. Потребность в больших проходных сечениях во всех секциях системы выпуска может часто быть удовлетворена путем установкой глушителей параллельно друг другу. Проверьте проходное сечение, имеющееся в каждом случае, и убедитесь, что сумма площадей поперечного сечения превышает площадь сечения основной трубы. Это даст Вам возможность сделать проходное сечение глушителя

приблизительно на 25 % больше чем у основной трубы, поскольку коэффициент сопротивления внутри глушителя обычно довольно высок.

Выбор типа глушителя ограничен прямоточными типами с наполнением из стекловаты или относительно популярными "турбо" глушителями. Вообще, прямоточные глушители обеспечивают лучшее прохождение газов, в то время как «турбо» глушители с перегородками обеспечивают лучшее глушение. Глушители с наполнением из стекло-

Рис. 11-12. Производство инженерного искусства, глушитель для Porsche 966.

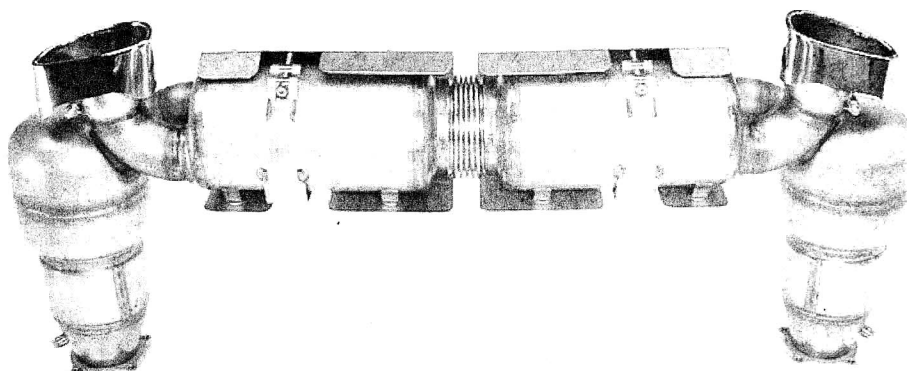


Рис. 11-13. Сверху: Параллельное расположение глушителей с наполнением из стекловаты обеспечивает хорошее прохождение газов и низкое сопротивление. Внизу: Такое расположение глушителей может дать преимущество при плотной компоновке.

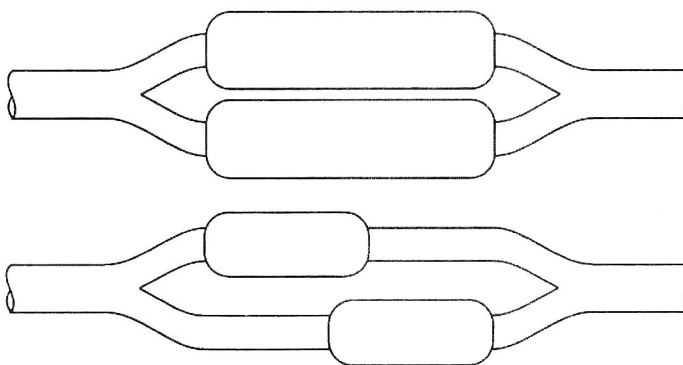
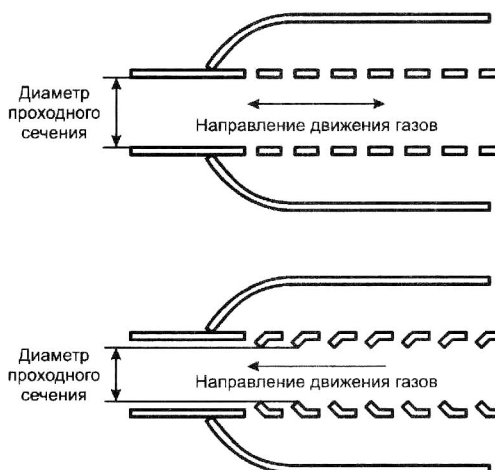


Рис. 11-14. Глушители со стекловолоконным наполнением сделаны в двух различных конструкциях, с просверленными отверстиями в ядре и с проштампованным ядром. Просверленное ядро лучше.



ваты или из тонкой стальной проволоки имеют репутацию как сжигающие материал наполнения за короткий срок. Достаточно странно, поскольку турбонагнетатель значительно увеличивает предполагаемый срок службы этих глушителей, забирая большое количество теплоты, которая иначе бы поглощалась материалом глушителя.

Два типа ядер популярны в глушителях с наполнением из стекловаты: просверленные и проштампованные. Просверленные ядра имеют более чистый, и таким образом менее ограничивающий, путь для потока газов. Если глушителя с просверленным ядром оказывается недостаточно, глушители с проштампованным ядром работают лучше когда поток направлен вдоль проштампованных отверстий.

Опасение чрезмерного шума прямооточных глушителей обычно имеет основания. Дело обстоит немного не так у двигателя с турбонаддувом, поскольку турбонагнетатель можно рассматривать как приблизительно одна треть глушителя.

### Установка вестгейта

Вестгейт будет обсуждаться более внимательно в главе «Управление наддувом», он не предъявляет никаких особых требований к глушению, но дает возможность, которая может быть полезна для всей системы. В любом автомобиле, оборудованном каталитическим нейтрализатором, газы из вестгейта должны быть возвращены обратно в выхлопную трубу перед нейтрализатором, потому что все отработанные газы должны проходить через нейтрализатор. Там, где каталитический нейтрализатор отсутствует, существует возможность сделать полностью отдельную выхлопную трубу исключительно для вестгейта. Может потребоваться небольшой глушитель, чтобы ограничить шум в необходимых пределах, когда система работает при максимальном наддуве. Смысл установки отдельной выхлопной трубы состоит в увеличении эффективного проходного сечения системы выпуска. Вообще, вестгейт будет более иметь лучшую реакцию и несколько более эффективно управлять давлением наддува, когда будет иметь свою собственную выхлопную трубу.

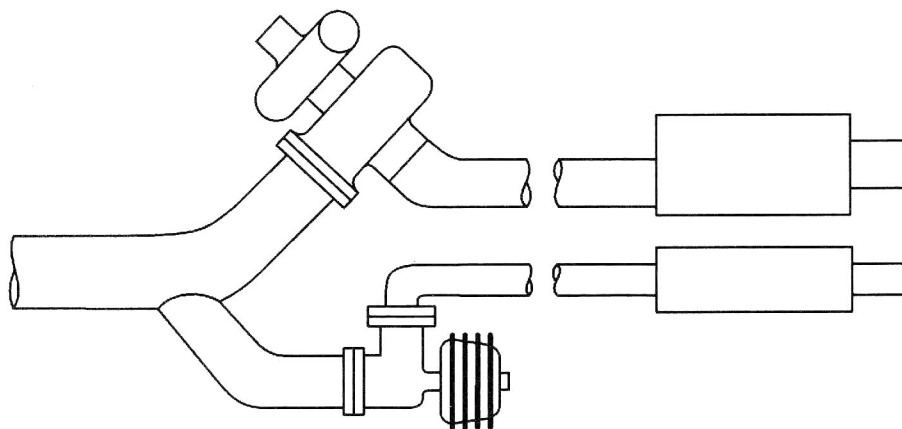


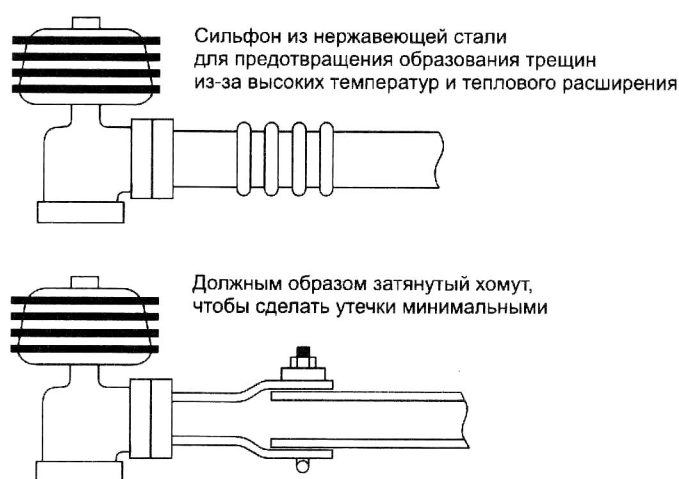
Рис. 11-15. Отдельная выхлопная труба - лучшее решение для вестгейта.

Вентиляционная труба вестгейта или выхлопная труба будут подвергаться большим колебаниям рабочей температуры. Это происходит

оттого, что вестгейт закрыт большинство времени, и вентиляционная труба, таким образом, остается холодной, так как отсутствует поток выхлопных газов. Как только вестгейт открывается, вся вентиляционная труба испытывает быстрое повышение температуры.

Эти колебания будут происходить каждый раз при открытии вестгейта. При этом требуется, чтобы конструкция вентиляционной трубы могла расширяться и в то же время не подвергаться вызывающим трещины деформациям. Компенсационные соединения могут иметь штампованную форму или прорези. Сильфон должен быть сделан из нержавеющей стали и иметь достаточно крепкую конструкцию, чтобы быть долговечным. Материал должен быть минимум 0,8 мм толщиной. Сильфон должен иметь поддержку для устранения вибраций, иначе он будет недолговечным из-за усталости металла.

*Рис. 11-16. Вентиляционная труба вестгейта подвергается сильному тепловому расширению; изменения длины должны быть компенсированы. Заметьте направление выштамповки для лучшей изоляции при работе без наддува, и в то же время для обеспечения нормального обратного давления в выхлопной трубе.*



### Материалы и покрытие.

Мягкая сталь – совершенно адекватный материал для изготовления системы выпуска. Нержавеющая сталь, хотя и является лучшим материалом, ставит задачу изготовления всех узлов системы из этого материала. Нержавеющие трубы, приваренные к глушителям из мягкой стали, немного дают для обеспечения долговечности.

### Соединители и прокладки.

Болтовые соединения, конечно наиболее неприятные части любой системы выпуска. Если они правильно сконструированы, прокладки и соединители, которые скрепляют соединения, могут обеспечить длительную эксплуатацию и дать уверенность, что эти детали не доставят проблем. Создание правильной системы - в значительной степени результат нескольких «как надо делать» и «как не надо делать», перечисленных в главе «Выхлопной коллектор».

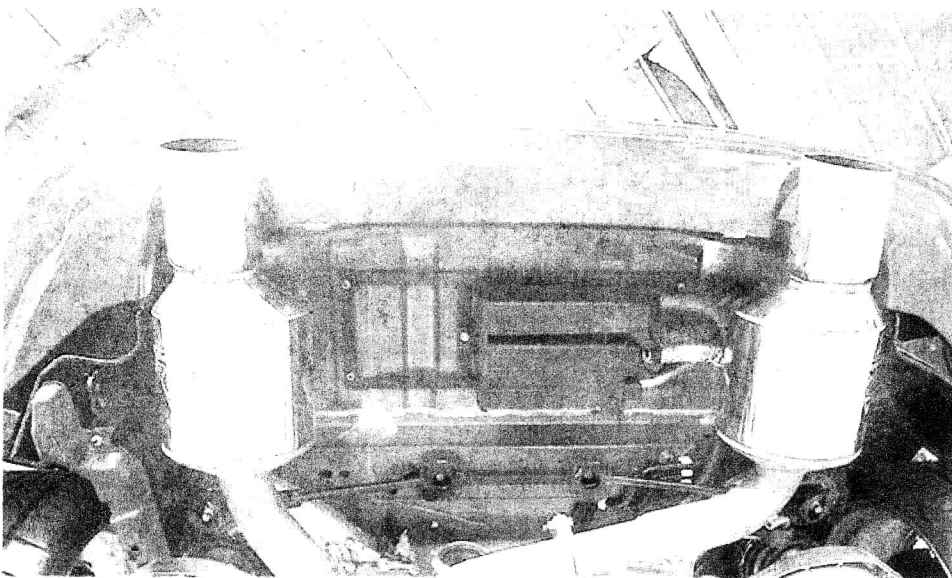
### Фланцы.

Фланец несет двойную ответственность – удержание прокладки, всегда надежно зажатой и гарантии, что выхлопная труба имеет соответствующее крепление. Эти требования легко выполнимы при использовании фланцев толщиной 10 мм или больше. Небольшой фланец, вроде фланца для вестгейта, может быть тоньше, около 8 мм.

Вообще, чем толще фланец, тем дольше срок его службы и выше вероятность, что прокладка останется на месте.

### Насадки на выхлопную трубу

Так как единственная видимая часть всей системы выпуска – последние немногие сантиметры, соблазнительно сделать их стильными и эффектными. Стиль – почти всегда хорошо, но только не тогда, когда это стоит мощности. Убедитесь, что площадь сечения насадки достаточна для расхода выхлопных газов. Мысли о насадках на выхлопные трубы, которые "извлекают" отработанные газы, могли бы очаровать нас, но пождитте, пока они не появятся на гоночных автомобилях Формулы 1 перед тем как приходить в восторг от их достоинств. Большинство причудливых конструкций насадок являются меньше чем удовлетворительными.



*Рис. 11-17. Эстетичные глушители для Nissan 350Z - прекрасное дополнение к хорошей системе турбонаддува.*

### Специальные требования к переднеприводным автомобилям

Атомобили с передним приводом, как правило, имеют поперечное расположением двигателя. Это ставит новую проблему перед проектировщиком, необходимо обеспечить гибкое соединение выхлопной трубы с двигателем, так как он имеет подвижность относительно своих креплений при передаче момента. Не допустимо постоянно изгибать выхлопную трубу и ожидать, что она будет иметь длительный ресурс. Гибкое соединение трубы получает новое значение в переднеприводном автомобиле с поперечно расположенным двигателем. Не попадите в положение, при котором Вы жестко соедините две трубы, чтобы укрепить их в одном месте и попытаетесь получить от них достаточную долговечность. Задача в том, чтобы создать в достаточно гибкое соединение, такое, чтобы двигатель фактически мог двигаться и не перенапрягал выхлопную трубу. Ориентируйтесь на подвижность в пределах  $10^0$ , и старайтесь обеспечить это.

---

## Итоги главы

*Имеются ли проблемы при соединении штатной системы выхлопа с турбонагнетателем?*

Почти всегда. Штатные системы разработаны для расходов газов, произведенных штатными двигателями. Чтобы прокачать через штатную выхлопную систему на 50 % большее количество газов (приблизительно 0,5 бара наддува), придется увеличить давление в выхлопной трубе до неприемлемо высокого уровня.



---

# Регулирование давления

Потребность в эффективных регуляторах давления в системе турбонаддува вызвана тем, что в соответствии с характеристикой турбонагнетателя его расход воздуха растет быстрее чем возможность двигателя принять это количество воздуха. Если не препятствовать этому, турбонагнетатель может быстро создать разрушительно высокое давление наддува, которое приведет к детонации. Методы и устройства, при помощи которых можно управлять давлением наддува – одна из важных составляющих системы турбонаддува.

Устройства регулирования давления различаются по принципам работы и эффективности, от правой ноги водителя с одной стороны до сложных устройств с каналами изменяемой площади в турбине с другой. Далее будут рассмотрены различные схемы регулирования для поддержания заданного давления наддува, их достоинства и недостатки.

## Ограничитель

Давлением наддува можно управлять, создав сужение для воздуха на входе или на выходе выхлопных газов. На стороне впуска, просто протягивая или прокачивая воздух через калиброванное (путем проб и ошибок) отверстие на входе или выходе компрессора, соответственно, можно ограничить расход так, что давление наддува не выйдет из-под контроля. Немного более совершенное устройство изменяет проходное сечение при увеличении наддува, таким образом, чтобы при отсутствии давления наддува отверстие имело максимальную площадь. При таком способе управления температура впускного воздуха увеличится, потому что полученное давление наддува, будет создано при меньшем количестве воздуха на впуске, таким образом степень сжатия, а следовательно и температура, увеличатся. Таким же образом ограничитель будет работать на стороне выхлопа. Опять калиброванное отверстие ограничит расход, поскольку турбонагнетателю будет позволено создавать давление наддува в пределах расхода газов, ограниченного этим отверстием.

Этот ограничитель может иметь форму большой шайбы на выходе турбины или даже быть глушителем с небольшим проходным сечением. Любое ограничение потока выхлопных газов будет увеличивать температуру в камере сгорания, потому что противодействие на выходе газов, и таким образом обратный поток газов, будет больше.

Рис. 12-1. Давление наддува может управляться ограничителем на входе или выходе компрессора. Хотя такая схема регулирования работоспособна, ее применение увеличивает количество теплоты в системе и поэтому является плохой идеей.

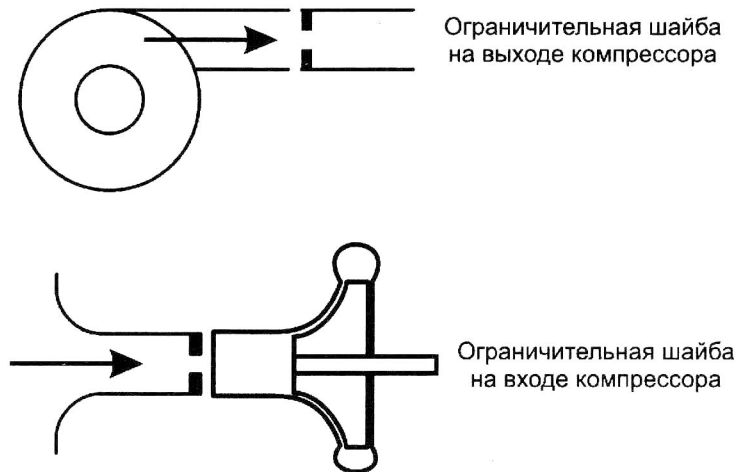
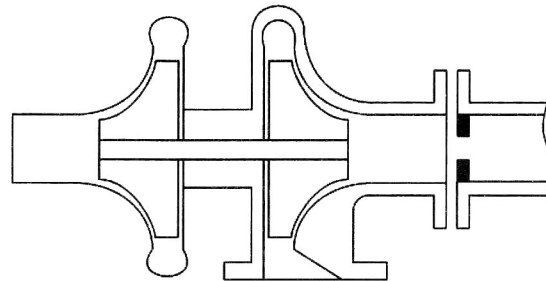


Рис. 12-2. Ограничитель в выхлопной трубе может управлять давлением наддува, но при этом возрастает количество теплоты в системе. Эффективно, но также плохая идея.

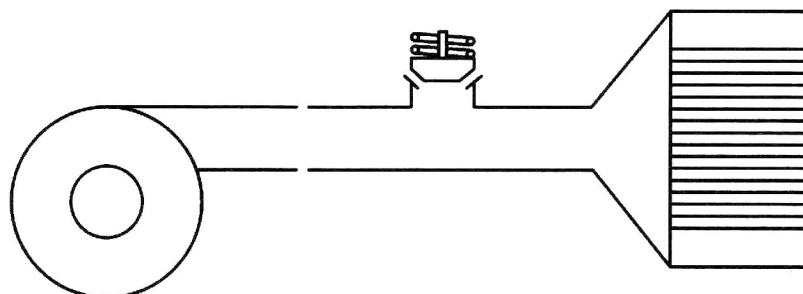


Главная причина установки турбонагнетателя – увеличение расхода воздуха через двигатель, и поэтому добавление ограничителя, чтобы управлять этим расходом, в конечном итоге, должно рассматриваться как глупая схема. На автомобилях Формулы 1 не было никаких ограничителей расхода.

### Выпускной клапан

Некоторое подобие предохранительного клапана радиатора может использоваться как устройство регулирования давления. Вообще, этот тип средств управления оказывается неточным и часто шумным. Хотя такой способ регулирования гораздо лучше любого вида ограни-

Рис. 12-3. Давление наддува может быть справлено после того, как работа по его созданию выполнена. Эффективная, но плохая идея



чителя, такие клапаны больше подходят как средство безопасности в случае неисправности вестгейта. Обычно они могут быть установлены на серийных автомобилях оснащенных турбонагнетателем, как защитные устройства от неконтролируемого возрастания давления наддува. Нет никаких оснований делать выпускной клапан основным устройством регулирования давления. Кроме того, он не может использоваться в карбюраторной системе с протяжкой воздуха, поскольку тогда через него пришлось бы стравливать в атмосферу топливовоздушную смесь.

## Вестгейт

Вестгейт получил свое название от того, что его задача трать впустую часть энергии выхлопных газов. Тратя впустую, или перепуская, управляемое количество выхлопных газов мимо турбины, можно управлять её частотой вращения, а следовательно и давлением наддува. Другими словами вестгейт является, по сути, байпасным клапаном турбины, который направляет к турбине только такое количество выхлопных газов, которое требуется для создания заданного давления наддува.

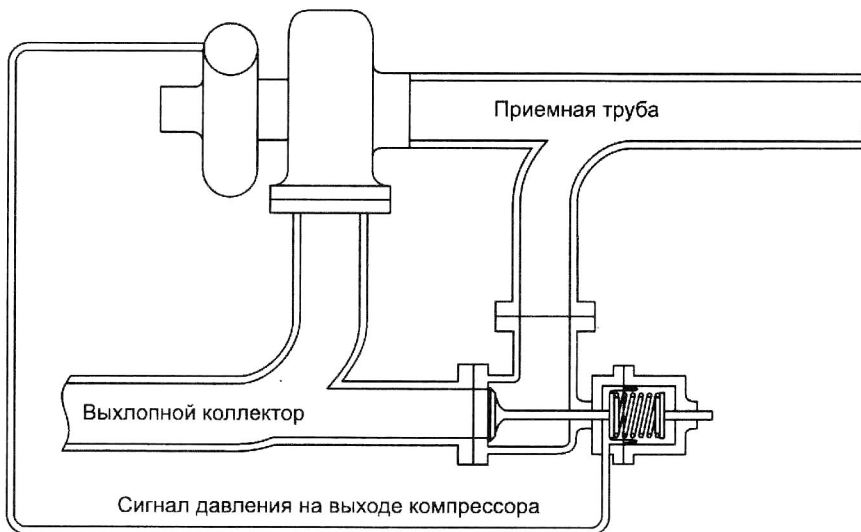


Рис. 12-4. Вестгейт это классический способ управления давлением наддува.

Хотя вестгейт в настоящее время является лучшим способом для управления давлением наддува, это не лучший способ регулирования. То, что он работает, тратя впустую энергию является его недостатком. Второй недостаток то, что во время нарастания давления наддува клапан вестгейта должен открываться постепенно, до тех пор пока давление наддува не достигнет заданного значения. Другими словами, вестгейт настроенный на 0,7 бара как правило начинает открываться при давлении около 0,35 бара и перепускает впустую выхлопные газы, которые могли бы использоваться для более интенсивной раскрутки турбонагнетателя. Попытка увеличить обороты турбины, в то время когда клапан вестгейта частично открыт – это попытка поймать собственный хвост.

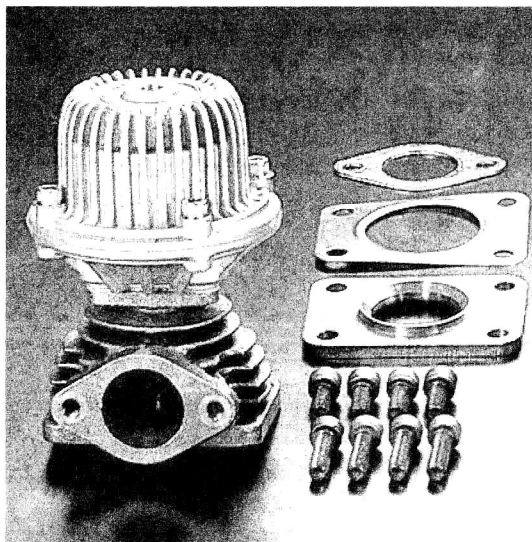
Тем не менее тысячесильные автомобили Формулы 1 использовали вестгейты, они используются практически во всех современных системах турбонаддува. Пока турбонагнетатели с изменяемой геометрией

турбины не будут доступны по приемлемой цене, вестгейт останется лучшим устройством для регулирования давления.

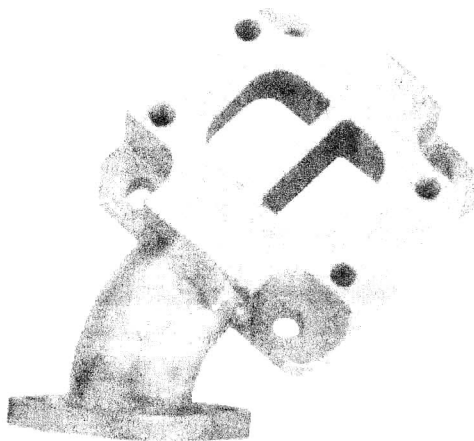
### Выбор вестгейта

В настоящее время существуют два типа вестгейтов: интегрированный и внешний. Интегрированный подразумевает, что вестгейт непосредственно входит в конструкцию турбонагнетателя. Внешний может быть установлен там, где посчитает нужным конструктор. Или, по крайней мере, в более подходящем месте.

*Рис. 12-5. Хороший пример внешнего вестгейта от HKS*



*Рис. 12-6. Адаптер для размещения вестгейта между турбонагнетателем и коллектором.*



Принятие решения о том, какой тип вестгейта будет выбран, является компромиссом между бюджетом и характеристиками системы. Бюджетный вариант – интегрированный вестгейт. При получении высоких характеристик, за редким исключением, обычно используется внешний вестгейт. Попробуйте найти интегрированный вестгейт на спортивном автомобиле.

## Установка вестгейта в систему

Один из ключевых пунктов при установке вестгейта в систему – определение места выхода отработанных газов из выпускного коллектора. Этот выбор достаточно важен, потому что он определяет такие вещи как распределение нагрузки между цилиндрами, точную и быструю реакцию на открытие клапана вестгейта и, в некоторой степени, на давление на входе в турбину. Выход газов должен располагаться в месте, где собираются импульсы выхлопных газов из всех цилиндров. Практически всегда это место коллектора, расположенное непосредственно у крепежного фланца турбины. Симметрия и легкий путь для газов – вот основные принципы для размещения вестгейта.

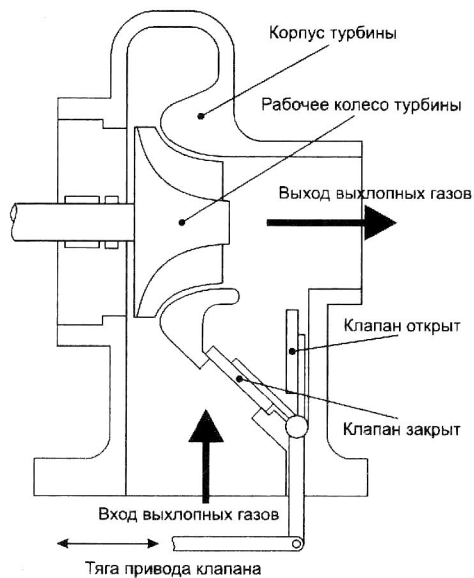


Рис. 12-7. Интегрированный вестгейт недорог и прост.

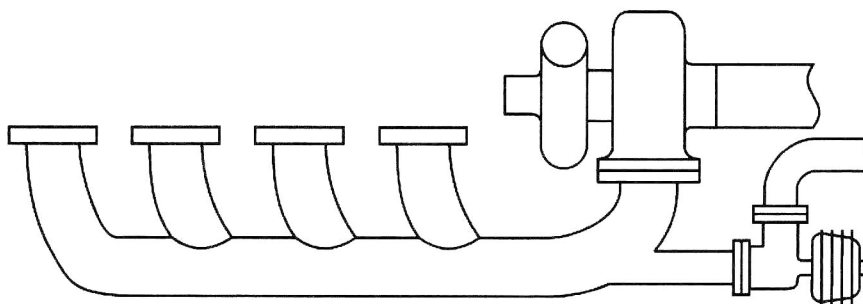


Рис. 12-8. Внешний вестгейт – лучшее из решений для регулирования давления.

Важно, чтобы отработанные газы легко могли изменить направление от пути непосредственно к турбине к обходному пути через вестгейт. Если у потока газов будут сложности при изменении направления к выходу через вестгейт, способность управлять давлением наддува в диапазоне высоких оборотов может просто исчезнуть.

Возврату отработанных газов от вестгейта в выхлопную трубу за турбиной нужно уделить такое же внимание как газам, входящим в вестгейт. В данном случае нужно постараться избежать столкновения двух потоков отработанных газов, выходящих из турбины и выходящих из вестгейта. Взаимодействие потоков увеличит противодействие на выходе газов, таким образом понижая мощность. Интегрированный вест-

гейт обычно будет направлять отведенные отработанные газы назад в систему непосредственно за рабочим колесом турбины. Это приемлемо по экономическим причинам, но это не в интересах повышения мощности. Некоторые конструкции интегрированных вестгейт имеют отдельную выхлопную трубу для отведенных газов. Когда имеется такая отдельная труба, это преимущество должно быть использовано и она должна быть продлена дальше на некоторое расстояние, перед возвратом газов назад в основную систему выпуска. Минимальное расстояние около 450 мм.

Рис. 12-9. Вестгейт, который не отводит газы от всех цилиндров равномерно – плохое решение. И тем более он не должен создавать обратный ход потока газов от турбокомпрессора, как здесь.

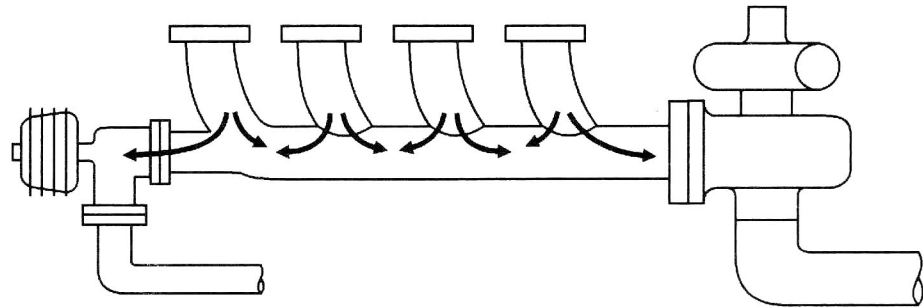
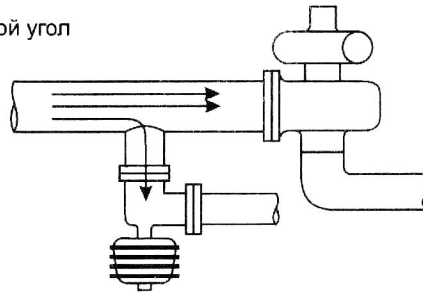
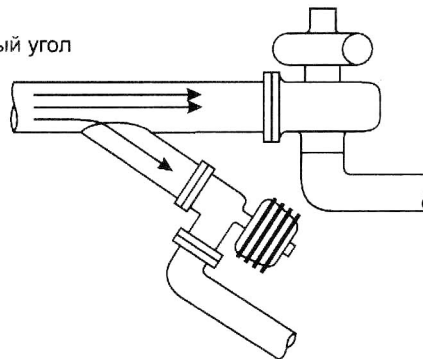


Рис. 12-10. Угол входа потока в вестгейт важен. Правильно выбранный угол позволить отработанным газам легко выходить из системы.

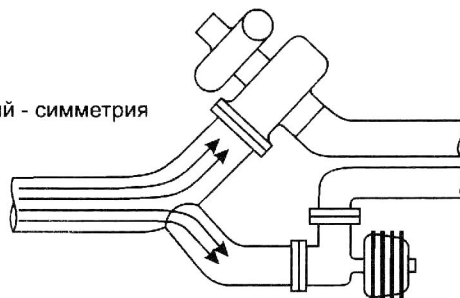
Плохо - прямой угол



Лучше - острый угол



Наилучший - симметрия





Как обсуждалось в главе «Системы выпуска», идеальное решение для отведенных через вестгейт газов – полностью отдельная выхлопная труба. Такая компоновка обеспечивает самую лучшую реакцию вестгейта, самое низкое обратное давление, и полное отсутствие взаимодействия с потоком газов из турбины.

Высокоэффективная система турбонагнаддува будет иметь отдельную выхлопную трубу для вестгейта. Конечно такая система не будет ни дешевой ни простой. В ней должно быть уделено соответствующее внимание конструкции выхлопной трубы вестгейта, необходимо обеспечить тепловое расширение трубы без ее деформации.

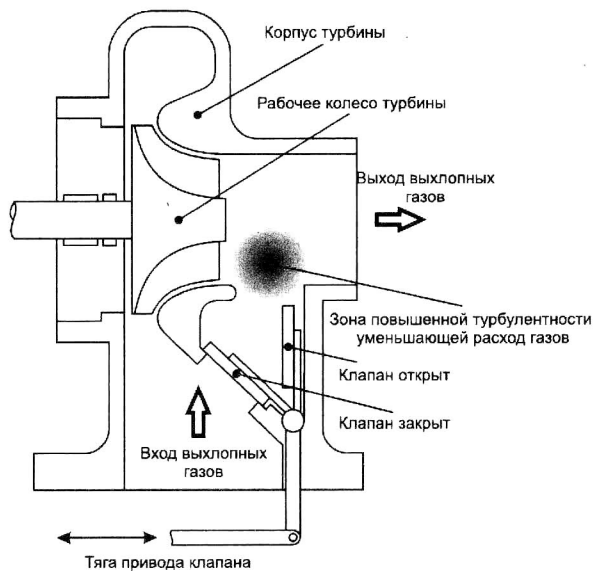


Рис. 12-11. Интегрированные вестгейты обычно сбрасывают отведенные газы непосредственно за турбиной и создают высокую турбулентность, понижая общий расход газов через турбину.

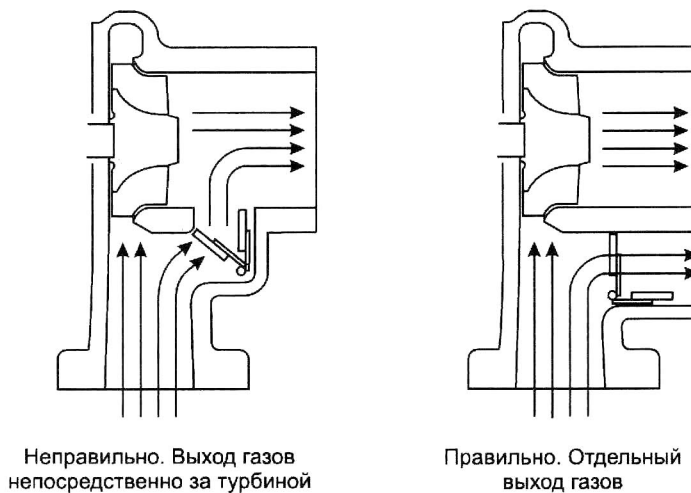


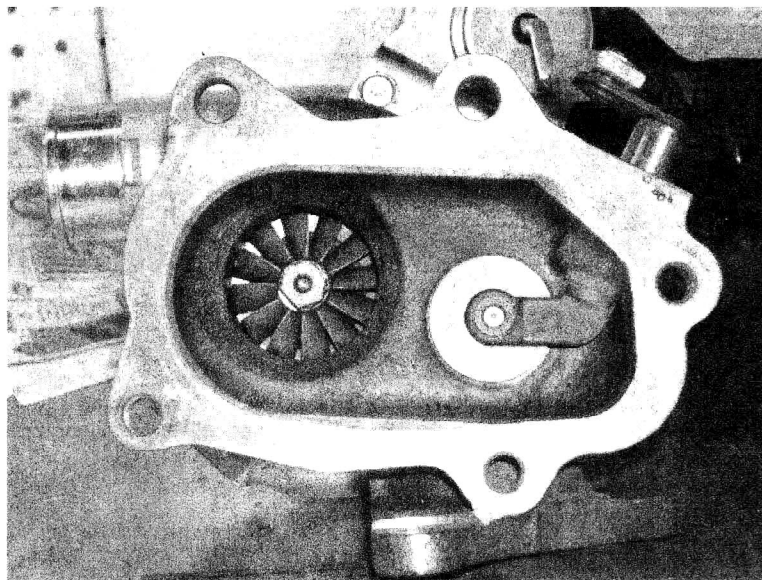
Рис. 12-12. Интегрированные вестгейты, отводящие выхлопные газы в отдельную выхлопную трубу, обеспечивают более высокую отдаваемую мощность.

### Сигнал управления вестгейтом

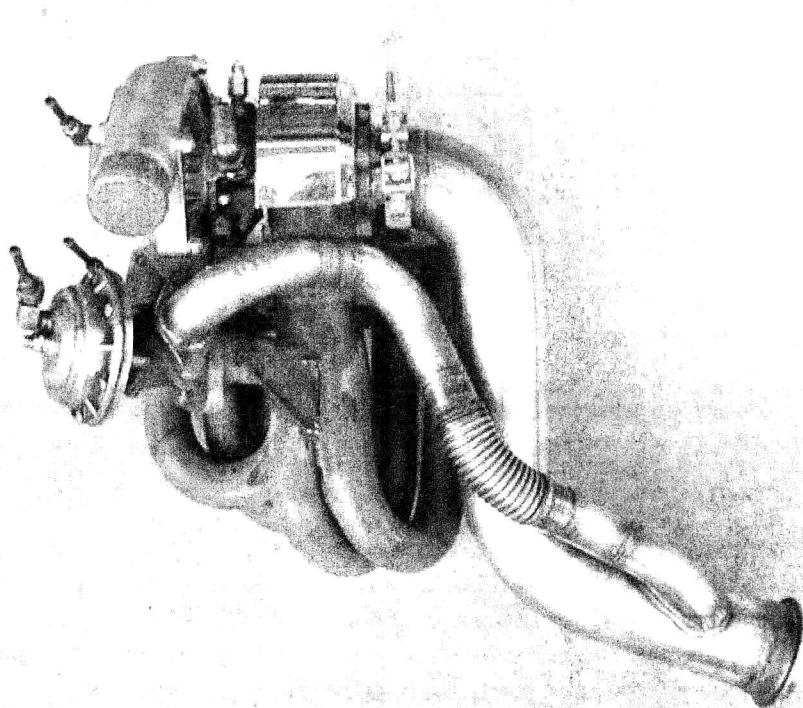
Давление наддува, приложенное к диафрагме вестгейта, называется управляющим давлением. Источник этого сигнала может влиять на реакцию вестгейта, окончательное давление наддува, и, в какой-то степени, на расход топлива. Поэтому важно рассмотреть, откуда будет поступать этот сигнал. Очень важно знать и понимать, что вестгейт

будет управлять давлением в точке, из которой он получает управляющий сигнал. Если сигнал берется на выходе компрессора, то в этом месте системы будет создаваться давление наддува, определяемое настройкой вестгейта. Аналогично, если сигнал взят из выхлопной трубы (не смейтесь), давление в выхлопной трубе так же будет определяться настройкой вестгейта. Известно, что давление в системе двигатель/турбонагнетатель изменяется из-за таких ограничивающих расход газов устройств как промежуточные охладители, дроссельные заслонки, и даже из-за очевидных проблем в соединении воздушных патрубков. Понятно, что давление в системе изменится в зависимости от выбора источника управляющего сигнала. Так где же разместить источник сигнала?

*Рис. 12-13. Клапан интергрированного вестгейта.*



*Рис. 12-14. Гибкие отводные трубы вестгейта обеспечивают значительное расширение и сжатие, вызванные большими колебаниями температуры в вестгейте.*



По существу, для выбора источника сигнала управления существуют три точки: выход компрессора, корпус дроссельной заслонки и впускной коллектор. Каждый из них имеет свои достоинства и недостатки.

Сигнал, получаемый на выходе компрессора, обеспечивает лучший контроль над вестгейтом, а именно - его реакцию и возможность непрерывно управлять давлением наддува.

Недостаток такого выбора в том, что подъем кривой момента, будет немного меньше, поскольку этот источник сигнала создает условия для самого раннего открытия вестгейта. Раннее открытие клапана вестгейта даст некоторое снижение тепловой нагрузки, потому что в системе фактически никогда не будет создано давление большее чем задано настройкой вестгейта. Это позволяет избежать быстрого перегрева промежуточного охладителя.

Ресивер на впуске, как источник сигнала, немного улучшит реакцию на наддув, так как турбонагнетатель сможет свободно создать давление наддува какое он может, пока давление не достигнет источника сигнала и не будет передано на вестгейт. То, что турбонагнетатель сможет свободно создать короткий пик давления, приведет к значительному повышению температуры промежуточного охладителя. Большая температура всегда должна рассматриваться как отрицательный фактор. Для системы с продавливанием воздуха через карбюратор, в которой вестгейт и регулятор давления топлива должны получать один и тот же сигнал одновременно, источник сигнала во впускном ресивере - лучший выбор.

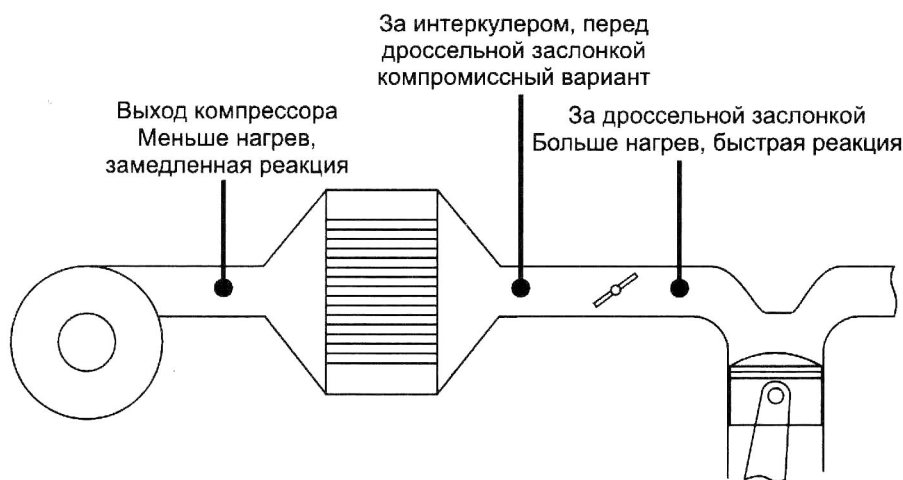


Рис. 12-15. Источник сигнала для вестгейта может влиять на систему относительно тепловой нагрузки и реакции турбины.

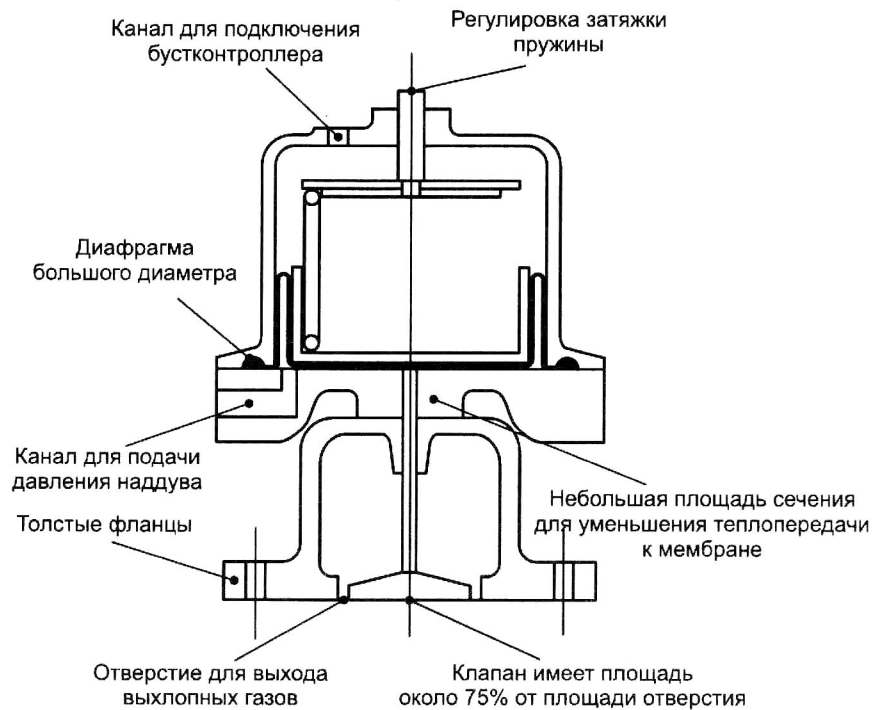
Получение сигнала из впускного ресивера должно рассматриваться только тогда, когда реакция турбонагнетателя имеет самое высокое значение, и короткий выброс дополнительной теплоты допускается или игнорируется.

Во всех рассматриваемых случаях необходимо следить за температурой воздуха в системе. Если не существует каких-либо особенных требований к системе, подключайте сигнал вестгейта к выходу компрессора и радуйтесь.

### Особенности конструкции вестгейта

На функциональность и возможности вестгейта влияют различные детали его конструкции. Большинство вестгейтов, представленных сегодня на рынке, имеет хорошее соотношение цена/качество, но при внимательном рассмотрении особенностей их конструкции может оказаться, что один вестгейт в чем-то лучше другого для какого-то специфического применения.

Рис. 12-16. Устройство классического вестгейта



#### Общее направление.

Все вестгейты должны иметь одну важную характеристику – общее направление для давлений, прикладываемых к клапану и диафрагме. Давление отработанных газов приложенное к клапану вестгейта, должно действовать в том же самом направлении, в котором приложено к диафрагме давление наддува.

#### Стабильность и устойчивость.

Стабильность, с которой вестгейт управляет давлением наддува, и устойчивость работы вестгейта, зависят от отношения площадей диафрагмы и клапана. При прочих равных условиях, чем больше это отношение, тем лучше вестгейт.

#### Теплоизоляция.

Теплоизоляция является критичной для предполагаемого срока службы вестгейта. Теплоизоляция, в некоторой степени, зависит от того где Вы выберете место для установки вестгейта, но она, также, зависит от пути для распространения тепла от самой горячей части клапана до диафрагмы. Идея, конечно, в том, чтобы удерживать теплоту подальше от хрупкой диафрагмы. Теплота быстро передается через толстые металлические детали; таким образом, чем меньше площадь материала между этими двумя деталями, тем лучше. Алюминий хорошо проводит

тепло, в то время как нержавеющая сталь имеет гораздо меньшую теплопроводность. Поэтому вентгейт из нержавеющей стали должен обеспечить диафрагме более долгую жизнь.

#### **Давление открытия.**

Давление открытия вентгейта – давление, при котором клапан начинает подниматься с седла. Это давление, как правило, составляет от половины до одной третьей стабилизированного давления (максимального давления наддува). Важно, чтобы давление открытия было как можно выше, потому что иначе через вентгейт будет сброшено достаточное количество энергии, предназначенной для турбины, как только он начнет открываться, таким образом турбокомпрессор не разовьет максимального давления. Из-за этого способность турбокомпрессора создавать давление наддува после начала открытия клапана вентгейта, сокращается.

#### **Возможность регулировки.**

Возможность регулировки – хорошая особенность, желательно чтобы она имелась в каждом вентгейте. Обычно это выполняется винтом, который изменяет предварительную затяжку клапанной пружины. Физический смысл жесткости пружины, свободной длины и сжатой длины обычно определяет диапазон регулирования вентгейта, который обычно ограничен 0,15 бара без замены пружины.

Практически все изготовители вентгейтов предлагают разнообразные пружины для различных давлений наддува. Вообще, отдельные вентгейты обеспечивают возможность регулирования; интегрированные – нет.



*Рис. 12-17. Внешний вентгейт с диаметром выходного отверстия 60 мм от Tial.*

#### **Крепежный фланец.**

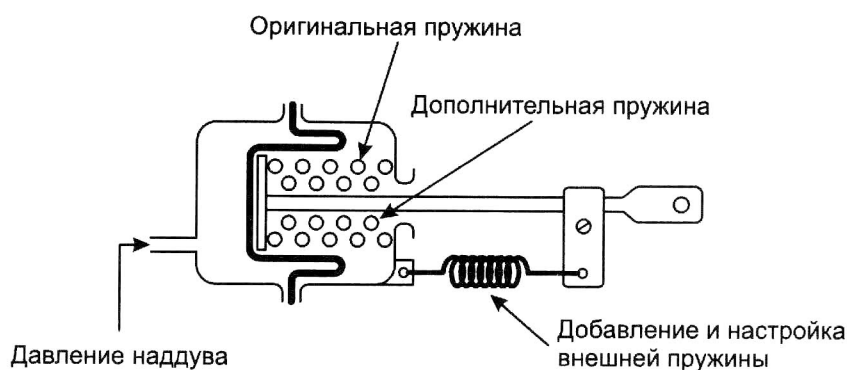
При выборе вентгейта должен быть внимательно рассмотрен тип крепежного фланца. Жесткие прочные фланцы крепления долговечны. Все остальные имеют меньший срок службы.

## Обманывание вестгейта

Настройка давления наддува становится любимым времяпрепровождением энтузиастов. Просто думать о способе создания большей мощности, только путем поворота винта регулировки давления. Увы, это не так. Условия, при которых система должна работать, если кто-то пожелает поднять давление наддува, это отвод некоторого количества теплоты из нагнетаемого воздуха, обеспечение правильного соотношения воздух/топливо и, если возможно, увеличение октанового числа топлива. Тогда, и только тогда, Вы имеете право поднять давление наддува на новый уровень, который прибавит в систему такое же количество теплоты, которое было удалено из системы, путем повышения ее эффективности.

Например, более эффективный промежуточный охладитель, который может снизить температуру на впуске еще на 30°C, позволит поднять давление приблизительно на 0,2 бара, конечно при обеспечении, постоянного соотношения воздух/топливо. Произвольное увеличение давления наддува, без каких либо предосторожностей, по существу означает, что Вы думаете, что консервативность конструкторов была граничащей с глупостью. Можно согласиться, что бухгалтера и адвокаты определяют терпимые давления наддува, но нужно предполагать, что инженер, с соответствующими знаниями в термодинамике, был ответственным человеком. В таком случае если мы произвольно поднимем давление наддува нас ждут проблемы. Делайте выбор. Нужно твердо знать, что прежде чем увеличивать давление наддува, необходимо удалить из системы некоторое количество теплоты. С учетом сказанного, имеются схемы, позволяющие поднять давление наддува:

Рис. 12-18. Простая модификация интегрального вестгейта для увеличенного наддува.



### Замена пружины.

Простое решение для постоянного изменения уровня наддува состоит в замене пружины в приводе вестгейта. Это может быть выполнено тремя различными способами: сжатие оригинальной пружины для более высокой предварительной нагрузки, замена оригинальной пружины более жесткой, или установка дополнительной пружины. Оценка жесткости пружины, требуемой для конкретной величины наддува, имеет немного длинные вычисления. Если Вы не сильны в вычислениях, возможно метод проб и ошибок будет легче. Достаточно простой метод выбора дополнительной пружины состоит в том, что необходимо выбрать пружину приблизительно такой же длины как оригинальная, но



приблизительно на половину менее жесткую. Это обеспечит наддув примерно на одну треть выше штатного.

### "Утечка давления".

Другая простая форма регулирования давления - "Утечка давления". Этот способ состоит в создании управляемой утечки в сигнальной линии привода вестгейта. Если, например, в сигнальной линии может быть создана утечка 0,15 бара, потребуется 0,65 бара наддува, чтобы открыть вестгейт, настроенный на 0,5 бара. Регулируемая утечка может быть создана при помощи регулируемого клапана. Поверните регулировочный винт, измените утечку и управляйте давлением.

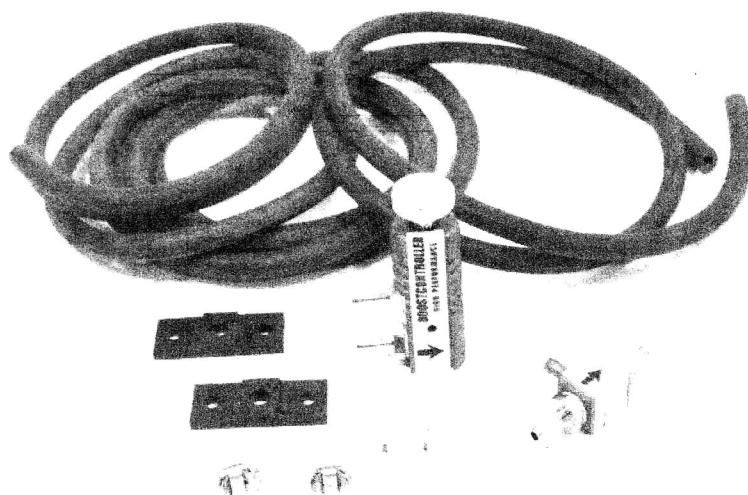


Рис. 12-19. Простой и надежный механический бустконтроллер, работающий на принципе регулируемой утечки в сигнальной линии вестгейта.

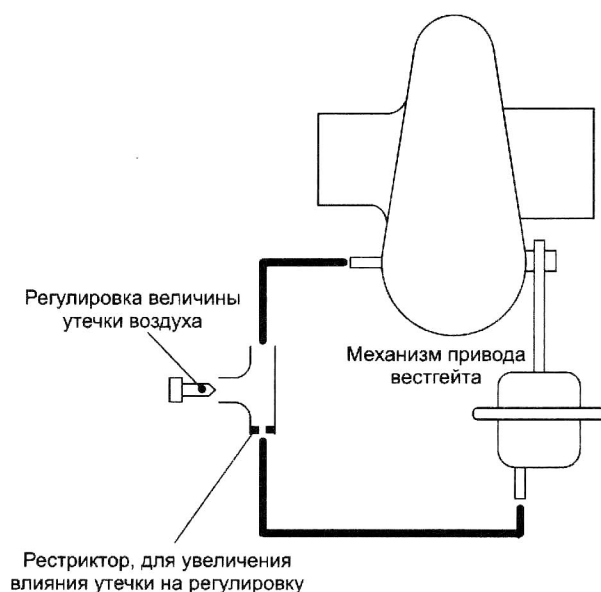


Рис. 12-20. Основная концепция дистанционного управления наддувом.

### Двухуровневый переключатель давления.

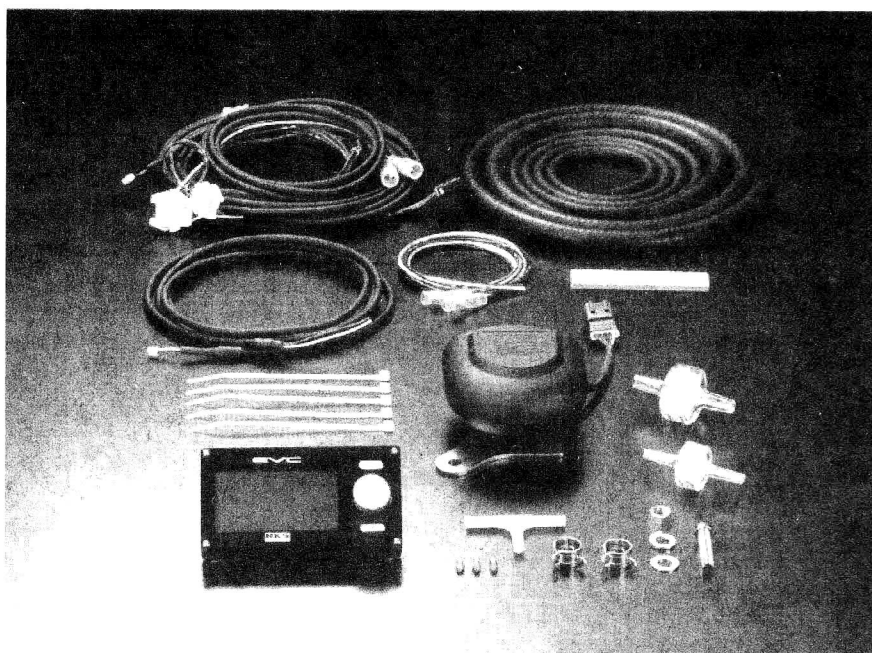
"Утечка давления" с некоторыми вариациями может стать системой с двумя уровнями регулировки, высоким и низким. "Утечка давления" работает, путем создания утечки воздуха, и она может включаться

при помощи электромагнитного клапана, управляемого выключателем из кабины. Эта схема может быть расширена до любого необходимого числа уровней наддува. Логично выбрать два или три уровня наддува, но выбор десяти различных уровней доканал бы Вас.

#### **Дренажное отверстие.**

Возможно самый простой способ, поднять давление наддува, дренажное отверстие, через которое будет выходить часть воздуха, подаваемого к приводу вестгейта. Начните с дренажного отверстия диаметром приблизительно 1,5 мм. Просто регулируйте размер вплоть до достижения желательного наддува. В сигнальной линии может требоваться ограничительное отверстие, поскольку системы турбонаддува производят такие огромные объемы воздуха, что выпускное отверстие диаметром 1,5 мм является обычно бессмысленным без уменьшения количества воздуха, подаваемого к приводу. Лучше оставить диаметр ограничительного отверстия также приблизительно 1,5 мм.

*Рис. 12-21. Электронный контроллер вестгейта - многофункциональное устройство для управления давлением наддува.*



#### **Электронно/пневматический регулятор вестгейта.**

В настоящее время на рынке представлены различные электронные блоки управления вестгейтом, которые обеспечивают дополнительные возможности регулирования. Мало того, что они обеспечивают несколько различных давлений наддува по нажатию кнопки, они также держат закрытым клапан вестгейта, пока не будет достигнуто заданное давление наддува. Это выполняется, путем блокирования сигнала давления к вестгейту, предотвращая его открытие за 0,35 - 0,4 бара до максимального наддува. Нарастание наддува от среднего до максимального происходит значительно быстрее. В то время как это трудно почувствовать на первой передаче, преимущества такой схемы очевидны и существенны на третьей передаче и выше.

## Устройство защиты от превышения давления наддува

Трудно привести доводы против наличия некоторого резервного устройства управления давлением, которое должно обеспечить регулирование, если вентгейт будет неисправен. Не думайте однако, что если это случится, двигатель будет моментально расплавлен. Когда вентгейт будет неисправен, не требуется быть крупным ученым, чтобы увидеть более высокие показания на указателе давления наддува и сделать выводы, что кое-что неисправно. При этом не нужно быть Микой Хаккиненем, чтобы сказать, что автомобиль ускоряется немного быстрее и что возможно кое в чем-то произошли изменения, и что нужно бы посмотреть на приборы. Вообще, если кто-то сжег свой двигатель из-за неисправного вентгейта, ему нужно бы вернуться и повторно сдать на права. Однако, легко избежать опасности перерегулирования, быть уверенным в этом, и не волноваться о таких вещах.

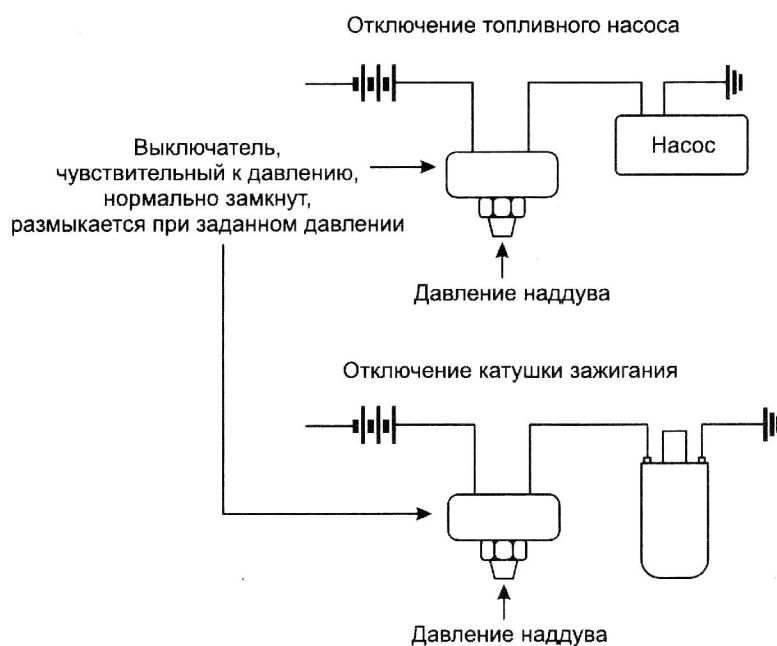


Рис.12-22. Защита от неконтролируемого повышения давления наддува может быть реализована отключением питания катушки зажигания или топливного насоса.

Несколько схем удовлетворительно работают как защитные устройства. В серийных системах турбонаддува они существуют в различных вариантах от предохранительных клапанов до систем с электронной отсечкой топлива или отсечкой зажигания. Если кто-то сделал всю "домашнюю работу" и хочет повысить давление наддува серийной системы, заводское защитное устройство должно быть отключено, но все-таки хорошей идеей будет установить новое, соответствующее более высокому уровню наддува. Индивидуальный подход к блокированию этих устройств, скорее всего, состоит в изучении руководства по ремонту автомобиля или консультации с кем-нибудь в сторонних фирмах, занимающихся этими вопросами.

Если Вы разрабатываете вашу собственную систему турбонаддува, также желательно создать защитное устройство от перерегулирования давления наддува. Датчик давления может отключать импульсы к катушке зажигания, коммутатору, или топливному насосу. Просто найдите

нужный провод, врежете в него приводимый в действие давлением выключатель, отрегулированный на давление на 0,1 - 0,15 бара выше настройки вестгейта, и подайте на него сигнал давления наддува. Отключение подачи топлива - вероятно лучший из этих двух вариантов. Эти устройства могут вызывать дергание автомобиля если причина роста давления остается неустранимой (поскольку давление наддува многократно понижается до безопасного уровня, замыкает цепь, которая заставляет наддув опять возрастать), но безопасность они обеспечивают. Этот подход, конечно, не достаточно быстродействующий для карбюраторных двигателей и поэтому пригоден для двигателей с системой впрыска топлива.

### Итоги главы

*Почему необходим вестгейт?*

Система турбонаддува на бензиновом двигателе должна иметь механизм регулирования давления для предотвращения неконтролируемого повышения давления наддува и следовательно разрушительной детонации. Вестгейт это стандарт, единственное технически правильное решение для регулирования давления в системе турбонаддува. Другой хороший вариант - турбонагнетатель с изменяемой геометрией турбины, который управляет оборотами турбины, и таким образом давлением наддува, путем изменения положения лопаток (см. главу "Будущее турбонаддува"). Этот тип турбонагнетателя гораздо более технически совершенен чем стандартные турбины с вестгейтами.

*Как вестгейт должен быть установлен в систему?*

Вестгейт предъявляет два требования к установке в систему : Откуда дует и Куда дует. Вестгейт должен стравливать газы из того же места выпускного коллектора откуда эти газы попадают в турбонагнетатель. Выход из вестгейта должен в идеальном случае иметь отдельную выхлопную трубу и глушитель. Это обеспечивает наименьшее влияние на поток газов, выходящих из турбины. Соединение вентиляционной трубы вестгейта и выхлопной трубы должно быть расположено от выхода трубы из турбонагнетателя минимум в 45-50 сантиметрах. По этим причинам внешний вестгейт всегда лучше чем интегрированный. Серьезные люди в турбонаддуве, вроде Porsche, все же не упустили возможность сэкономить на интегрированном вестгейте. Однако никакие гоночные автомобили не имеют интегрированных вестгейтов, и сомнительно, что они когда-либо будут их иметь. Интересно читать объявления и описания турбокитов, рекламирующих одну из наименее желательных особенностей системы турбонаддува: интегрированный вестгейт.

*Необходимы ли какие-нибудь защитные устройства?*

Защитные устройства от превышения допустимых оборотов и превышения давления наддува - хорошее дополнение к системе турбонаддува. Индикатор детонации полезен для того, чтобы ее услышать. Система обнаружения и устранения детонации замкнутого типа - хорошее решение для обеспечения безопасной работы двигателя.

---

## Подготовка двигателя

Конечно одна из замечательных сторон турбонаддува то, что турбонагнетатель может сочетать мощность с "хорошим, серийным" двигателем и давать при этом потрясающие результаты. Некоторые не предполагают, что тщательная подготовка двигателя может не дать результата, соразмерного потраченным усилиям. Делать работу правильно означает подготовку двигателя только до такой степени, которой требуют желаемые рабочие характеристики. Любой двигатель, собранный где угодно кем угодно (серийно, имеется ввиду) будет успешно противостоять нагрузке от правильно настроенного наддува в 0,35 бара. Поэтому, «выполнение работы правильно» при желаемой рабочей характеристике в 0,35 бара наддува означает, что Вы нуждаетесь в "хорошем, серийном" двигателе. Нельзя, однако, ожидать от "хорошего, серийного" двигателя, что он переживет режимы наддува в 3,5 бара как двигателя с турбонаддувом Формулы 1. Нельзя тратить впустую время и средства на серьезную подготовку двигателя только для того, чтобы эксплуатировать его при низких давлениях наддува. Баланс между желаемыми рабочими характеристиками и подготовкой двигателя – предмет, обсуждаемый в этой главе.

### Определение целей

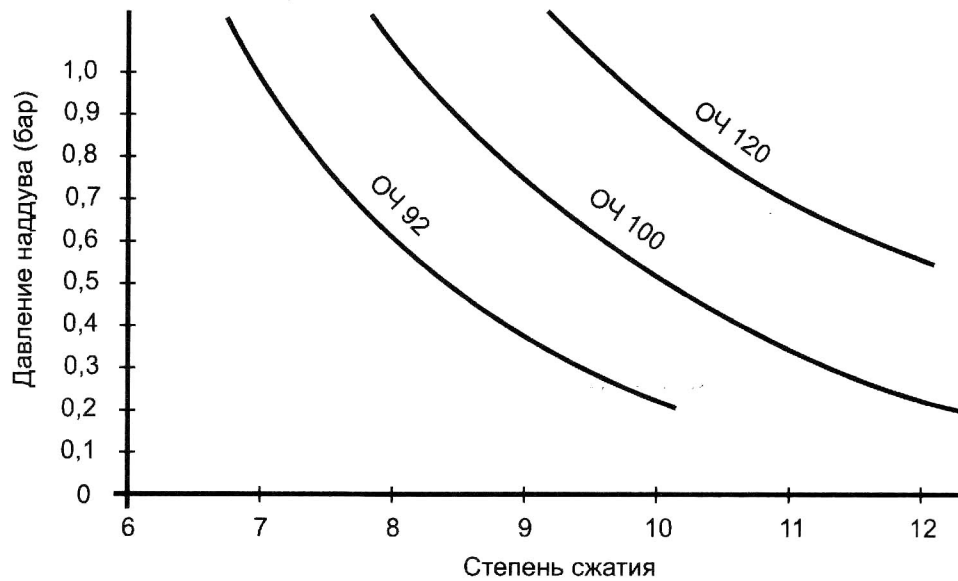
Желаемая мощность переводится в величину давления наддува, требуемого для достижения этой мощности. Подготовка двигателя, необходимую для такого давления наддува, можно разделить на несколько общих пунктов. Конечно, многие двигатели имеют специфические требования и слабости. Поиск в литературе по любому данному двигателю обычно дает богатую информацию, гораздо больше чем необходимо.

### Степень сжатия

В достижении желаемой характеристики двигателя, первое решение – степень сжатия. Степень сжатия влияет на большое количество факторов в общей характеристике автомобиля и характеристиках двигателя. Приемистость, экономичность, мощность на единицу давления

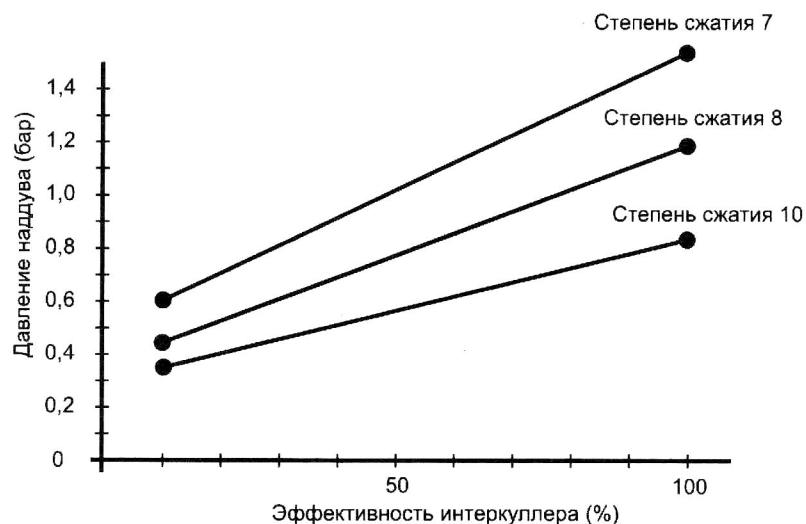
наддува, и что неосвязаемо, приятные ощущения, связанные с двигателями, жаждущими действия, являются некоторыми из факторов характеристики двигателя, определяемых, в значительной степени, степенью сжатия.

Рис.13-1. Приблизительные допустимые давления наддува для различного октанового числа топлива и различной степени сжатия двигателя.



Не будьте поспешными, чтобы понижать степень сжатия только потому, что большинство производителей любит так делать. Правильная степень сжатия для работы определена длинными термодинамическими вычислениями и всесторонними испытаниями. Все это высокие технологии, но много полезного может быть сделано при некотором опыте и будет подходить для наиболее общих приложений. Два, наиболее влияющих на степень сжатия, фактора это желаемое давление наддува и эффективность промежуточного охладителя. Октановое число топлива, конечно, играет большую роль, но мы обычно ограничиваемся использованием коммерческого бензина.

Рис. 13-2. Приблизительный график давления наддува как функции степени сжатия и КПД промежуточного охладителя.





**Двигатель с турбонаддувом нельзя никогда превращать в заготовку с низкой степенью сжатия.**

Вычисление изменения степени сжатия.

Чтобы вычислить степень сжатия, мы должны знать рабочий объем цилиндра и объем камеры сгорания (см. глоссарий)

$$\text{Степень сжатия} = \frac{\text{рабочий объем} + \text{объем камеры сгорания}}{\text{объем камеры сгорания}}$$

Или

$$CR = \frac{V_d + V_{cv}}{V_{cv}}$$

Где

$V_d$  - рабочий объем

$V_{cv}$  - объем камеры сгорания

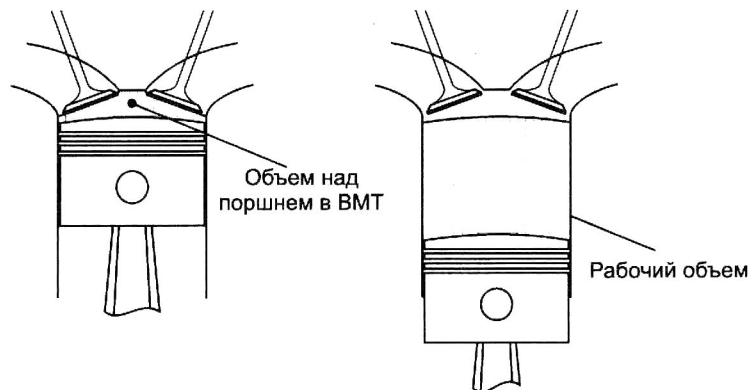


Рис. 13-3. Определение степени сжатия

Преобразовав уравнение можно получить формулу, позволяющую легко вычислить объем камеры сгорания при известной степени сжатия.

$$\text{Объем камеры сгорания} = \frac{\text{рабочий объем одного цилиндра}}{\text{степень сжатия} - 1}$$

Пример:

Четырехцилиндровый двигатель с объемом 2000 см<sup>3</sup> со степенью сжатия 11,0

$$\text{Объем камеры сгорания} = \frac{2000 \text{ см}^3}{11 - 1} = 50 \text{ см}^3$$

Чтобы уменьшить степень сжатия до 8,5 новый объем камеры сгорания должен быть

$$\text{Объем камеры сгорания} = \frac{2000 \text{ см}^3}{8,5 - 1} = 66,7 \text{ см}^3$$

Теперь ясно, чтобы изменить степень сжатия от 11,0 до 8,5 объем камеры сгорания должен быть увеличен на  $66,7 - 50 = 16,7 \text{ см}^3$ . Добавить этот объем можно различными способами, но математически все просто.

### Изменение степени сжатия.

Существуют разнообразные методы для изменения степени сжатия. Почти все они недопустимы. Затруднение вызывает устранение «вытесненного объема» вокруг края камеры сгорания. Камера сгорания разработана так, чтобы ТВС была выдавлена к ее центру при достижении поршнем ВМТ. Это, пожалуй, самое действенное средство от детонации, внедренное в конструкцию двигателя, поскольку при этом удаляются остаточные газы или создается сильная турбулентность ТВС. Этот вытесненный объем – кольцо приблизительно 7 - 10 мм шириной вокруг камеры сгорания, и приблизительно 1 мм толщиной, большой, имеющий форму шайбы, объем между поршнем и головкой цилиндра. Примите во внимание "вытесненный объем", оставьте его в покое и не вмешивайтесь. При его изменении можно допустить ошибку настолько ужасную, что при работе двигателя со степенью сжатия 7 детонация может быть хуже, чем у двигателя со степенью сжатия 9 и надлежащим вытесненным объемом. Теперь ясно, что выбор для сокращения степени сжатия ограничен удалением некоторой части камеры сгорания со стороны головки блока, установкой новых поршней с углублением в центре, или обработкой имеющихся поршней для создания углубления в днище поршня. Возможно, немного опасно выполнять обработку камеры сгорания, потому что толщина ее стенок обычно неизвестна. Кроме того, форма камеры сгорания у наиболее современных двигателей спроектирована довольно тщательно. После обработки камеры сгорания, ультразвуковой контроль поможет определить оставшуюся толщину стенок. Полностью новый поршень, с определенным углублением, который сохраняет вытесняемый объем, является правильным подходом. Обработка на станке углубления в имеющемся поршне является нормальным решением, при условии обеспечения достаточной толщины оставшегося материала. Хорошее правило – необходимо оставить толщину, по крайней мере, 6 % от диаметра поршня. Подходы к понижению степени сжатия, которые не работают – толстые прокладки головки блока цилиндров и короткие шатуны.

### Подготовка головки блока цилиндров

Подготовка головки блока цилиндров зависит от назначения двигателя. Хороший уличный двигатель с турбонаддувом обычно прекрасно работает с полностью штатной головкой блока цилиндров. С другой стороны, двигатель гоночного автомобиля с турбонаддувом требует полной подготовки соответствующей виду соревнований.

Если имеется возможность подготовить головку блока цилиндров самостоятельно, внимание должно быть сосредоточено на том, чтобы удостовериться, что головка блока цилиндров находится в превосходном состоянии. Плоскость поверхности головки блока цилиндров имеет большое значение. Должны быть обеспечены минимальные допуски. У всех отверстий нужно снять фаску и всю резьбу надо прогнать хорошим метчиком. Со всех кромок должны быть удалены заусенцы. Проверьте

качество отливки на предмет неровностей и шероховатости и удалите их. Камеры сгорания не должны иметь заусенцев, все ребра должны быть скруглены или плавно сопряжены с окружающим материалом. Все неиспользуемые витки в резьбе для свечей зажигания должны быть удалены. Цель этого – устранение горячих точек, которые могут служить потенциальными источниками зажигания. Клапанам надо уделить такое же внимание. Качество поверхности клапана должно быть высшего класса. Стоит потратить немного денег и застраховаться хорошим уплотнением от возросших, из-за турбонагнетателя, давлений. Качественная обработка седел, кроме того, позволит отводить больше тепла от клапанов.

Впускные и выпускные каналы должны получить обработку соответствующую назначению двигателя. Для обычной уличной системы турбонаддува, шлифовка и совмещение каналов вполне логичны. Подготовка для соревнований имеет свои отличия. Воздушный поток, проходящий через каналы двигателя с турбонаддувом, значительно превышает тот, который проходит через каналы атмосферного двигателя, поэтому несовершенства каналов создают значительно большее сопротивление потоку воздуха. Поэтому турбосистемы, используемые для соревнований, требуют более тщательной подготовки каналов.

Проверьте сопрягаемые поверхности на плоскостность и обработайте их, если требуется. Редко возникает необходимость в замене прокладки впускного коллектора. Давление наддува в 1 бар (действующее изнутри) – фактически то же самое давление, действующее снаружи, при разрежении в 760 мм рт. ст., вызванное закрытием дроссельной заслонки на высоких оборотах. Вакуум и давление, в некоторой степени, одно и то же, только они действуют в различных направлениях.

### Подготовка блока цилиндров

Блок цилиндров вряд ли будет нуждаться в специальной подготовке, только потому, что на сцену входит турбонагнетатель. Хороший серийный блок будет вполне подходящим для большинства проектов. Но где-то между высокими характеристиками, большим ресурсом и простым желанием мастера существует логичная причина подумать о подготовке блока цилиндров.

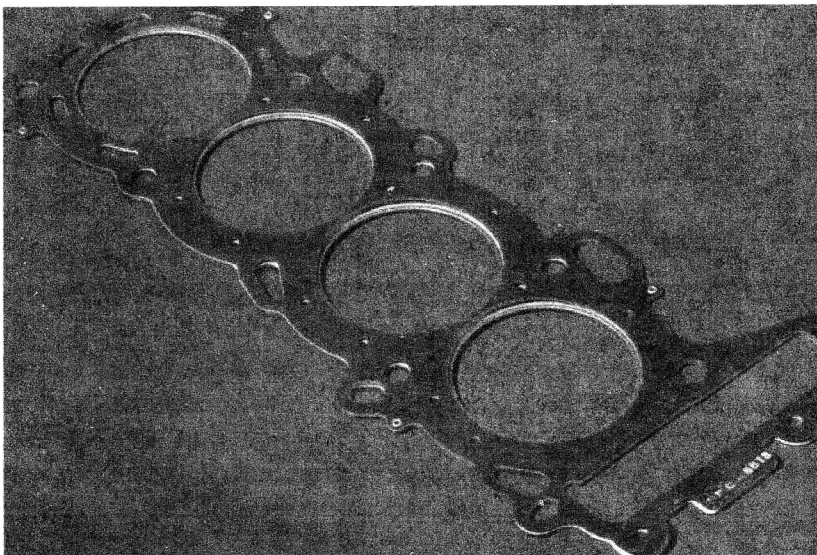


Рис. 13-4. Высококачественная многослойная прокладка головки блока цилиндров для двигателя Nissan SR20DET от APEXI.

Вымойте блок в горячем растворителе для удобства работы, удалите все заусенцы, и повторно прогоните метчиком все резьбовые отверстия. Сопрягаемые поверхности должны быть плоскими. Убедитесь, что все поверхности равноудалены и параллельны относительно геометрической оси коленвала. Отверстия для коленвала должны быть соосными и цилиндричными. Также чрезвычайно важно чтобы цилиндры двигателя были цилиндричными. Вымойте блок снова, когда все выше сказанное выполнено и удостоверьтесь, что он действительно чист.

Одна характеристика блока цилиндров могла бы помочь проекту турбонаддува, это жесткость блока.

Рис. 13-5. Усовершенствование прокладки головки блока цилиндра пазом без кольцевого уплотнения

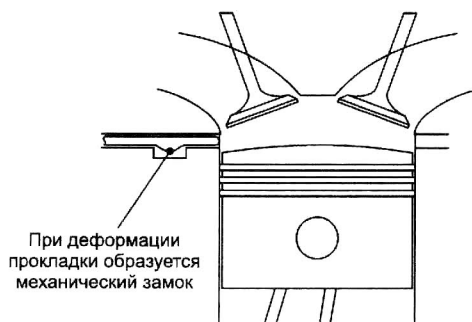


Рис. 13-6. Прокладка головки блока цилиндров, усиленная кольцевым уплотнением

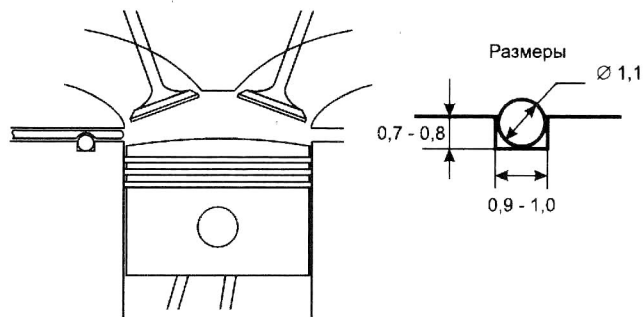
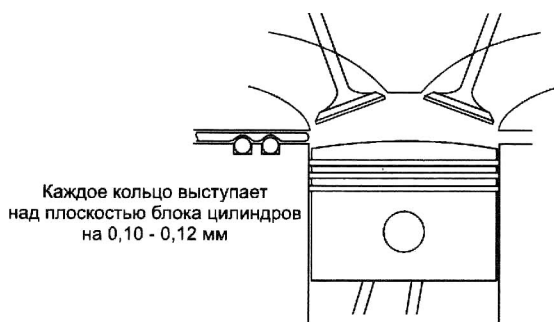


Рис. 13-7. Прокладка головки блока цилиндров, усиленная двойным кольцевым уплотнением



### Прокладка головки блока цилиндров

Думая об улучшении прокладки головки блока цилиндров нужно твердо понимать, что прокладка головки блока – слабое звено. Новая серийная прокладка головки блока, установленная на плоские поверхности и должным образом затянутые шпильки, являются хорошим соединением. Прокладки головки цилиндра вообще не склонны пропускать газы, масло или охлаждающую жидкость. Скорее, можно было бы говорить, что детонация повреждает что-то, и прокладка головки

блока – первая деталь, стоящая у нее на пути. Почти всегда наиболее эффективная защита от повреждения прокладки головки блока – контроль за возникновением детонации. Само собой двигатели с максимальной отдачей должны быть оснащены наилучшими прокладками головки блока. Существует несколько методов для повышения стойкости штатных прокладок головки блока цилиндров. Идея состоит в том, чтобы обеспечить некоторый барьер, который поможет прокладке оставаться на месте, если она подвергнется нескольким ударам детонации. Этот барьер обычно имеет форму замка или механического барьера, как показано на рисунках 13-5,6, и 7.

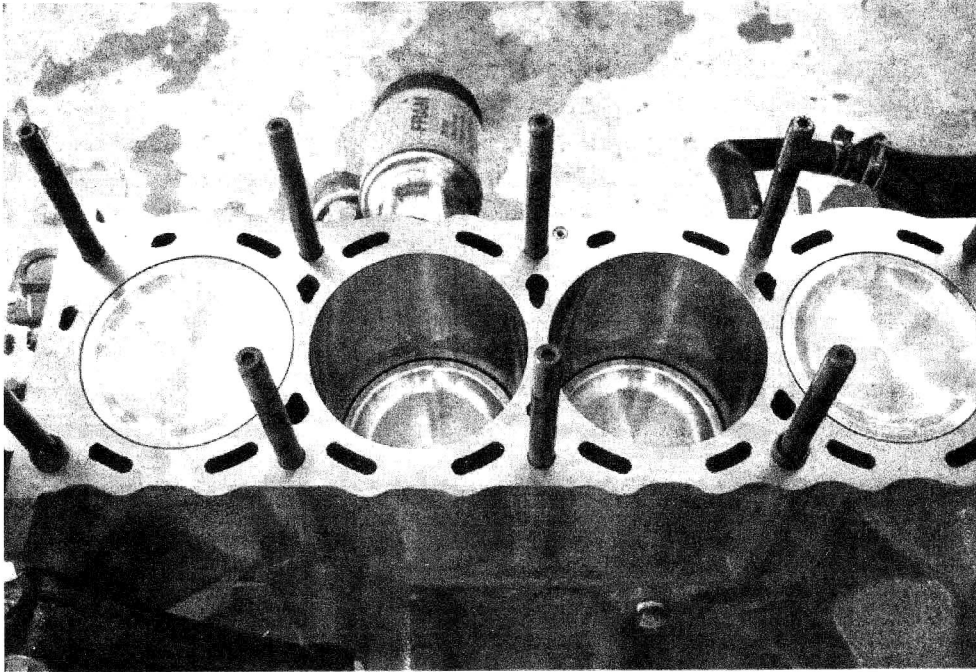


Рис. 13-8. Крепление головки блока шпильками - правильный выбор при подготовке турбодвигателя.

*Крепление головки блока болтами - решение бухгалтера, решение инженера - крепление головки блока шпильками.*

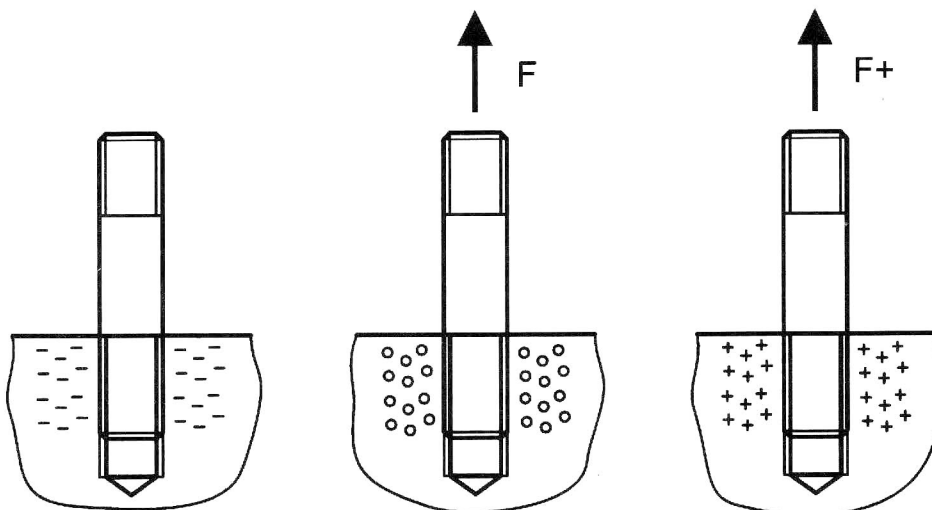


Рис. 13-9. Когда шпилька затянута, ее резьба, действуя на резьбу в отверстии, вызывает сжимающие усилия в окружающем основном металле. Растягивающее усилие, приложенное к шпильке, снижает напряжения сжатия до нуля, при дальнейшей затяжке создаются напряжения растяжения, в результате мы имеем более низкие растягивающие напряжения.

### Крепление головки блока цилиндров

Первое серьезное усовершенствование состоит в замене болтов высокопрочными шпильками. Должным образом закрепленная шпилька, с хвостовиком, ввинченным до упора в блок, является гораздо лучшим креплением, чем болт, завинченный в блок.

Логично установить шпильки крепления головки блока на размер больше, и при этом получить возможность увеличить стягивающее усилие, при более высоком моменте затяжки. Серьезное внимание нужно уделить деформации верхней части цилиндра, вызванной более высоким моментом затяжки креплений.

### Затяжка креплений головки блока

Цель затяжки болта, или гайки на шпильке, состоит в приложении растягивающего усилия к стержню болта или шпильки. Степень, с которой момент преобразуется в растяжение, почти исключительно зависит от трения между резьбой шпильки и резьбовым отверстием и трения между шайбой и гайкой. Чтобы достичь максимального растяжения в стержне для данного момента, трение нужно понизить до минимума.

Это нужно сделать, убедившись в отличном состоянии резьбы и гладкости поверхности гайки. Число использований болта или шпильки ограничено, потому что поверхности становятся шероховатыми, грубыми или иначе поврежденными. Вероятно, их можно использовать три раза.

Второй и наиболее важный способ снижения трения – смазка резьбы гайки или головки болта и шайбы; смазочные материалы, содержащие сульфид молибдена – лучшие. Простого масла будет недостаточно. Обратитесь к заводской инструкции или поставщиками крепежных элементов для определения величины момента затяжки. Если не указано ничего другого, приведенная величина – для чистой, сухой резьбы. При использовании сульфида молибдена все значения момента затяжки, регламентированного спецификацией нужно понизить на 10 % из-за крайне высоких смазочных качеств сульфида молибдена. Простое масло требует величины момента, которая будет меньше примерно на 5 %. Смазка этих поверхностей имеет такое значение, что если про нее забыли, нужно переделать работу, прежде чем запустить мотор.

### Поршни для турбонаддува

Поршень это слабое звено в двигателе с турбонаддувом. Когда система с турбонагнетателем ломается, обычно это плохой поршень, который выходит из строя. Теплота и вызванная теплотой детонация – две вещи, которые наносят поршню большинство повреждений. Этим двум врагам могут лучше всего противостоять высокопрочные теплостойкие материалы, конструкция поршня и отвода тепла.

#### Материал для поршней.

Кованный алюминий, заэвтектический литой алюминий, и упрочненный заэвтектический сплав – вот общий выбор материалов для поршней. Кованный алюминий, в некоторых случаях, значительно прочней, чем литой материал. Это, однако, не означает, что у него нет слабых



мест. Кованые сплавы похожи по прочности на упрочненный заэвтектический сплав, в то же время у заэвтекстических сплавов есть преимущество в виде высокой прочности в месте контактной площадки колец, где она наиболее важна.

Ковка имеет такую нежелательную особенность как необходимость в немного большем зазоре между поршнем и цилиндром. Большие зазоры могут разрушить поршень за короткое время в течение прогрева двигателя. Если используется слишком большой зазор, предполагаемый срок службы может быть равен ресурсу перегруженного литого поршня. Некоторые из производителей кованых поршней победили проблему увеличенного зазора, и мы имеем превосходные поршни. Проблема, конечно, в том, чтобы знать точно, что Вы имеете.



Рис. 13-10. Хороший поршень для турбонаддува будет иметь толстые, прочные площадки для колец. Кованный поршень для двигателя Toyota 3S-GTE

Поршни из заэвтекстических сплавов отлиты из алюминия с высоким содержанием кремния. Их самые полезные характеристики – низкое тепловое расширение и пониженная теплопередача. Приговор еще не вынесен, но это вероятно достаточно хорошее решение. Ясно, что эти поршни заслуживают изучения, перед тем как выбрать их в качестве лучшей части для вашего двигателя.

***Не нужно бежать сломя голову в магазин за коваными поршнями, каждый раз, когда необходимо подготовить двигатель для установки турбонагнетателя.***

Решение должно быть основано на трех пунктах: увеличение максимальных оборотов, давление наддува, и наличие эффективного промежуточного охладителя. Имейте в виду, что инерционные нагрузки в поршнях взмывают вверх с увеличением оборотов, большее давление производит большее количество теплоты, а хороший промежуточный охладитель забирает теплоту. Это и есть критерии выбора. Если условия не слишком необычные, уличному автомобилю, со штатными максимальными оборотами, больше подойдут литые поршни. Ковка должна использоваться для высоких оборотов, в то время как заэвтекстические сплавы Т6 отвечают почти всем предъявляемым требованиям.

### Конструкция.

Разработанный специально для турбонаддува поршень будет более прочным, чем поршень, предназначенный для меньшей нагрузки. Предмет для беспокойства – толщина кольцевых перегородок. Кольцевые перегородки – место восприятия нагрузок, которые воздействуют на поршень. Толщина этих перегородок должна быть как минимум вдвое больше чем на поршнях для атмосферных двигателей. Часто поршни для турбонаддува будут иметь лучшую теплопередачу от головки поршня к боковым стенкам.

### Отвод тепла.

Один из способов увеличения прочности поршня состоит в том, чтобы понизить его рабочую температуру. Для этого кажутся подходящими два метода: керамическое покрытие днища поршня и/или распыление масла на дно поршня. При керамическом покрытии возможно немного увеличить температуру на впуске, как следствие меньшей теплопередачи в поршень. Имейте в виду, что теплота на впуске – причина детонации. Впрыск масла на днище поршня доказал свою практичность на разных транспортных средствах, таких как дизельные Mercedes Benz и автомобили Гран при в начале 80-ых.

*Рис. 13-11. Впрыск масла на днище поршня понижает рабочую температуру поршня, увеличивая его ресурс.*



Хотя установка форсунок и не является простой, распыление масла должно быть первой модификацией. Установка форсунок должна сопровождаться установкой масляного насоса увеличенной производительности, или, по крайней мере, более жесткой пружины в редукционном клапане насоса. Может потребоваться подбор диаметра сопла форсунок, диаметр 0,8 мм должен быть хорошим выбором для начала.

### Балансировка деталей

Турбонагнетатель имеет некоторое отношение к механическому совершенству двигателя. Совершенно понятно, что любой двигатель, предназначенный для эффективной подготовки, должен подвергаться полной и точной балансировке. В противном случае конечный пользователь просто несерьезен.

### Распредвалы

Известно, что распредвалы для турбонаддува значительно отличаются от распредвалов для форсированных атмосферных двигателей.

Характеристики с широкой фазой и длительным перекрытием для распредвалов форсированных атмосферных двигателей, не подходят для системы турбонаддува. Уличный двигатель с небольшим турбонагнетателем, работает с давлением в выпускном коллекторе, которое несколько выше, чем давление наддува на впуске. При установке распредвалов с широкой фазой и длительным перекрытием, создается сильный обратный выброс газов. Таким образом "распредвал для турбонаддува" должен иметь узкую фазу и достаточно ограниченное перекрытие.

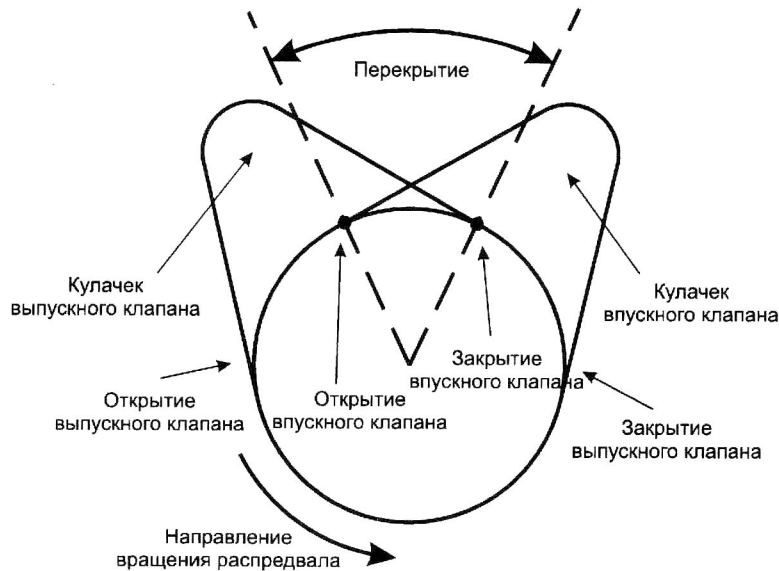


Рис. 13-12. Перекрытие распредвала турбодвигателя должно быть минимальным.

**Трудно найти распредвал для турбонаддува, который работает лучше, чем штатный.**

### Другие элементы двигателя

Выбор таких деталей как клапанный механизм, шатуны, подшипники, и шатунные болты не зависит от наличия турбонагнетателя. Эти детали должны быть выбраны на основании предполагаемых максимальных оборотов двигателя. Вообще, штатное оборудование полностью подходит фактически для любой системы турбонаддува, которая имеет максимальные обороты двигателя, установленные производителем.

### Итоги главы

*Какова лучшая степень сжатия для двигателя с турбонаддувом?*

Нет такого понятия как лучшая или идеальная степень сжатия.

Есть простые основные принципы:

- Чем ниже степень сжатия, тем легче обеспечить высокий наддув без детонации
- Чем выше степень сжатия, тем больше топливная экономичность и реакция двигателя при отсутствии давления наддува

При высокой степени сжатия борьба с детонацией достаточно сложное дело. Для всех практических целей, обычно приходится использовать степень сжатия стандартного двигателя. Серьезные усилия, направленные на промежуточное охлаждение, делают это практически возможным.

*Необходимо ли заменить распредвал?*

Нет. Штатные распредвалы обычно вполне подходят. При высоком давлении наддува (более 1 бара) на турбоавтомобиле с высокими характеристиками, замена распредвала будет необходима, но это также касается и некоторых других вещей. Оставьте штатный распредвал, и Вы будете вполне довольны.

*Необходимо ли модифицировать головку блока цилиндров или переделывать каналы клапанов?*

Нет в обоих случаях.

*Нужно ли использовать специальную прокладку головки блока цилиндров?*

Прочность прокладки головки блока цилиндров у разных двигателей заметно различается. Необходимо, чтобы штатная прокладка головки блока цилиндров была в штатном состоянии. Если она в порядке, и болты головки блока цилиндров должным образом затянуты, давление наддува редко будет повреждать прокладку. Специальные прокладки головки блока цилиндров и кольцевые уплотнения часто являются лекарством от других проблем. Они – невинное оправдание за отсутствие должного контроля над детонацией. Если детонация проблема, лечите эту проблему, и штатная прокладка головки блока цилиндров, как правило, будет хорошо выполнять свои задачи.

---

## Испытание системы

Ничто не может дать лучшее понимание взаимодействия турбонагнетателя и двигателя чем всесторонние испытания и оценка параметров всей системы. Что проверять, как это делать, какие потребуются приборы, и как оценивать их показания будет рассказано в следующих параграфах.

### Оборудование и инструменты

В большинстве случаев измеряются температура и давление, и это требует разнообразных измерительных приборов. При этом не требуется никакого дорогого оборудования кроме действительно хорошего измерителя соотношения воздух/топливо. В магазине технического оборудования наверняка найдутся разнообразные манометры, но аппаратура для измерения температуры обычно продается в специализированных магазинах или компаниях.

### Оценка потерь в воздушном фильтре

Потери в воздушном фильтре могут влиять на исправный двигатель и вызывать нежелательные побочные эффекты. Мысль проста – воздушный фильтр с сопротивлением может отбирать мощность, потому что он не будет легко пропускать воздух в двигатель. Присутствие турбонагнетателя, однако, усложняет эту простую ситуацию. Турбонагнетатель хотел бы, чтобы после того, как воздух пройдет через фильтр, он имел параметры окружающей среды. Это условие особенно важно, потому что все вычисления изменений температуры, потерь или увеличений давления, и эффективности основаны на условии, что на входе турбонагнетателя мы имеем условия окружающей среды. Например, предположите, что установлено давление наддува в 0,8 бара, и имеется мифический воздушный фильтр с нулевыми потерями. Используя формулу для степени сжатия из третьей главы, получим

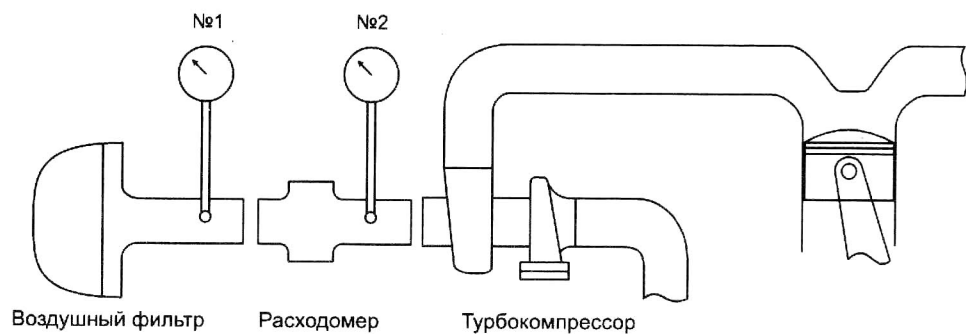
$$\text{Степень повышения давления} = \frac{1 + 0,8}{1} = 1,8$$

Теперь установим воздушный фильтр, который имеет потерю давления в 0,15 бара при тех же условиях максимальной нагрузки:

$$\text{Степень повышения давления} = \frac{1 + 0,8}{1 - 0,15} = 2,11$$

При этом появляется дополнительное обстоятельство, расход воздуха сокращается, наддув остается тем же самым, а степень сжатия повышается. В то время как степень сжатия увеличивается, также возрастает нагрев воздуха. В итоге мощность падает, а количество теплоты в системе растет. Звучит почти как нагнетатель типа Рутс. Это может выглядеть как научное объяснение или нечто подобное, но это не так. Утверждение, что турбонагнетатель будет создавать то же самое давление при меньшем расходе воздуха, фактически означает, что ему придется работать немного тяжелее, чтобы сделать это. Чем тяжелее он должен работать, тем большее количество тепла он выработает. Мы все бываем в подобной ситуации.

Рис 14-1. Вакуумный манометр используется для определения потерь в системе впуска воздуха. Прибор 1 показывает потерю давления на воздушном фильтре. Вычитая из показаний прибора 1 показания прибора 2, получим потерю давления на расходомере воздуха.



Чтобы измерить потери расхода сквозь систему впуска при входе в турбонагнетатель, установите вакуумный манометр только перед входом компрессора. Тогда

$$\text{Потери в фильтре} = \frac{\text{Атмосферное давление}}{\text{Атмосферное давление} - \text{Потери давления в фильтре}}$$

Стандартное барометрическое давление – 760 мм рт. ст.

Если прибор показал 76 мм рт.ст. вакуума при максимальной нагрузке, потери (в процентах) могут быть оценены как

$$\text{Потери в фильтре} = \frac{760}{760 - 76} - 1 = 11\%$$

Очевидно, что нулевые потери это миф, но усилия, направленные на создание системы впуска с низким сопротивлением будут вознаграждены большей мощностью и меньшим количеством теплоты. В итоге все сводится к поддержанию фильтрующего элемента воздушного фильтра в чистоте.

### Температура на входе в компрессор

Термодинамика не для всех проста как чашка чая, но уравнения несложны, и решить их может даже китайский калькулятор. Результатом щелканья чисел должно стать определение, имеет ли выбранный



турбонагнетатель правильный размер. Температура воздуха на входе в компрессор – важная информация, потому что это параметр, на основании которого рассчитываются все другие. Не думайте, что это температура окружающей среды. Если отверстие для забора воздуха находится вне двигательного отсека, температура на входе в компрессор может быть такой же, как и температура окружающей среды. Если оно находится в двигательном отсеке, слишком часто приточный воздух смешивается с воздухом, который прошел через радиатор или вокруг выпускного коллектора. Измерение температура воздуха на входе в компрессор с размещением измерительных приборов, показано на рис. 14-2.

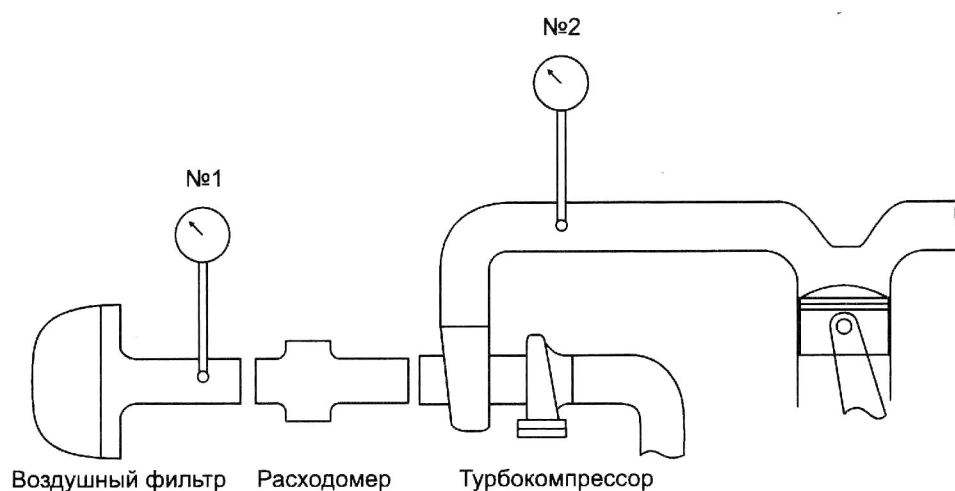


Рис. 14-2. Измерение температуры на впуске для определения повышения температуры после турбонагнетателя. Прибор 1 указывает температуру окружающего воздуха, на входе в турбонагнетатель. Показания прибора 2 минус показания прибора 1 показывают повышение температуры после турбонагнетателя.

### Условия на выходе компрессора

На выходе турбонагнетателя должны быть известны два значения: давление и температура. Давление на выходе компрессора – истинное давление наддува, созданное турбонагнетателем. Все измерения параметров, поскольку они производятся ближе к двигателю, будут выполнены относительно этого давления, будь это потери или вычисления эффективности. Например, давление на выходе компрессора минус давление на входе во впускной коллектор будет показывать потери в промежуточном охладителе и связанных с ним трубопроводах.

Температура на выходе из компрессора – другой параметр, задаваемый при выборе размера турбонагнетателя, соответствующего двигателю. Она дважды используется в выражении для определения эффективности интеркулера, так что измеряйте ее достаточно точно. Как только известны давление и температура на выходе компрессора, может быть рассчитана реальная степень сжатия, без промежуточного охладителя. Для вычисления степени сжатия с промежуточным охладителем, нужно подождать, пока не будут известны условия на выходе промежуточного охладителя.

Наиболее сложные вычисления, которые будут здесь сделаны – местный контроль диапазона эффективности турбонагнетателя. Инструменты для этих измерений не достаточны, чтобы построить турбокарту компрессора. Однако можно выполнить измерения для того, чтобы понять – работает ли турбонагнетатель в эффективном диапа-

зоне, и на этом считать работу выполненной. Эти вычисления несколько сложны, но другого пути нет, кроме как попросить выполнить их приятеля-термодинамика.

По крайней мере, должны быть проверены две точки: где-нибудь около точки максимального момента и при максимальных оборотах, оба измерения, конечно, при максимальном наддуве. Проверка состоит в вычислении реального КПД компрессора и сравнения этого значения с КПД, найденным по картам компрессора.

КПД компрессора ( $E_c$ ) рассчитывается по следующей формуле:

$$E_c = \frac{(PR^{0,28} \times T_{abs}) - T_{abs}}{\text{Повышение температуры}}$$

Где

$PR$  - степень сжатия

$T_{abs}$  - абсолютная температура на входе компрессора (см. глоссарий)

Поскольку это - общая термодинамическая формула, необходимо вставить текущее повышение температуры в знаменатель (из главы "Промежуточное охлаждение"):

Показатель степени 0,28 в числителе определен газовой постоянной, значение которой показывает степень нагрева газа при сжатии.

Клавиша  $X^y$  на калькуляторе, позволит нам найти величину  $PR^{0,28}$ .

Пример:

Допустим давление наддува равно 0,8 бара, и температура на входе компрессора 20°C ( $20^0 + 273^0 = 293^0$  абсолютной температуры). При максимуме момента или около него (4500 оборотов в минуту) температура на выходе пусть 90°C; при максимальной нагрузке (6500 оборотов в минуту) температура на выходе пусть 100°C.

Используем формулу для степени сжатия из главы "Выбор турбо-нагнетателя":

$$\text{Степень сжатия} = \frac{1+0,8}{1} = 1,8$$

Вычисление  $E_c$  при максимуме момента:

$$E_c = \frac{(1,8^{0,28} \times 293^0) - 293^0}{363^0 - 293^0} = 0,74 = 74\%$$

Вычисление  $E_c$  на максимальных оборотах:

$$E_c = \frac{(1,8^{0,28} \times 293^0) - 293^0}{373^0 - 293^0} = 0,66 = 66\%$$

Расчитав степень сжатия и расход воздуха на этих режимах, можно построить на карте компрессора две режимные точки и определить теоретический КПД компрессора в каждой из них (см. главу "Выбор турбо-нагнетателя"). Сравните КПД, показанный на карте компрессора с рассчитанным значением. Если предполагаемый КПД на два или три пункта выше или ниже чем рассчитанные значения, все хорошо. Если рассчитанные значения на четыре или пять пунктов выше, чем предполагаемые, мы находимся в замечательной форме. Если они более чем

на четыре или пять пунктов ниже, характеристики компрессора под вопросом, и надо идти назад к чертежной доске.

### Температура окружающей среды перед промежуточным охладителем

Точное определение реальных возможностей интеркулера связано с определением температуры воздуха, который охлаждает ядро. Ее значение не используется непосредственно в вычислениях, описывающих систему турбонаддува, но является интересным при проверке качества одной конструкции ядра против другой, относительно коэффициентов теплопередачи.

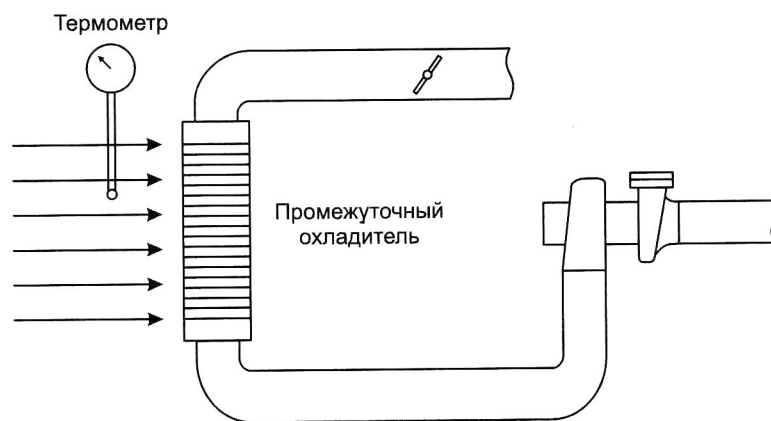


Рис. 14-3. Измерение температуры окружающей среды, необходимое для определения эффективности промежуточного охладителя.

### Условия на выходе промежуточного охладителя

Снова должны быть измерены температура и давление на выходе промежуточного охладителя. Эти значения важны, потому что это параметры воздуха, который получает двигатель. Наивно полагать, что ничего не случится в трубах от промежуточного охладителя до двигателя. С этими данными мы имеем достаточно информации, чтобы определить эффективность промежуточного охладителя и потери мощности из-за потерь давления наддува.

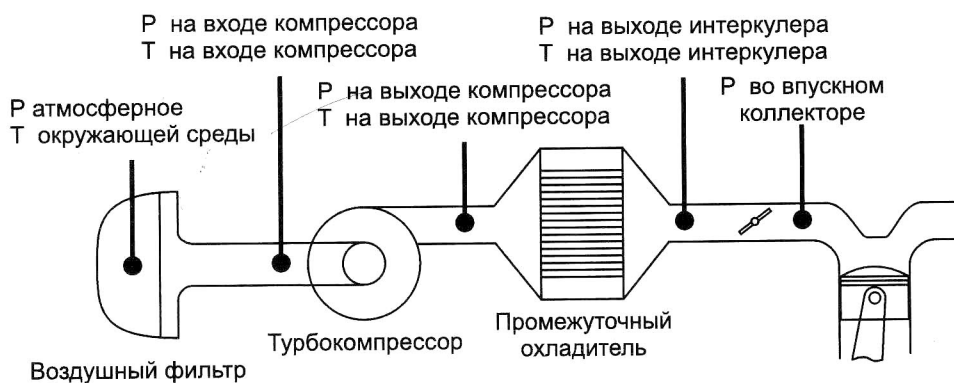


Рис. 14-4. Пять интересных точек для измерения температуры и давления.

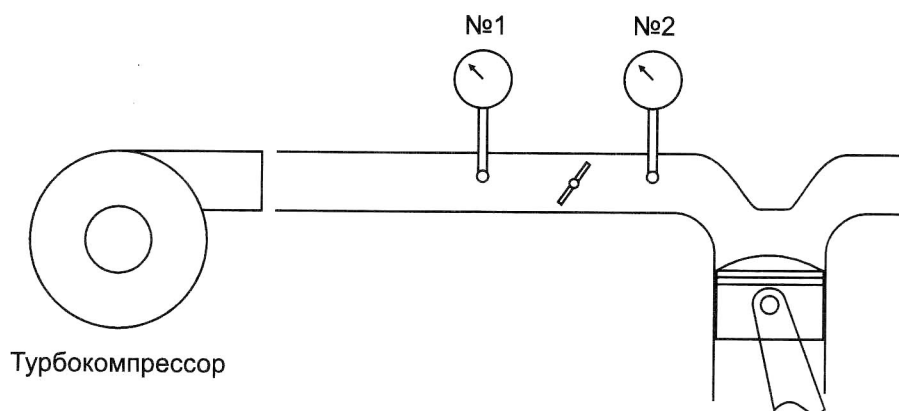
### Давление во впускном коллекторе

Если на пути воздуха от интеркулера до впускного коллектора происходят какие-то существенные изменения, они отразятся на давлении во впускном коллекторе, относительно условий на выходе из интеркулера. Может получиться так, что дроссельная заслонка слишком мала, для проектируемой системы и это способ, чтобы выяснить это.

Если существует разница давления больше чем 0,1 бара между выходом из интеркулера и впускным коллектором, вероятно, это подтвердит необходимость проверить давление непосредственно перед дроссельной заслонкой и сравнить его с давлением в коллекторе. Это поможет определить, происходят ли потери в трубах подачи воздуха или проблема в дроссельной заслонке.

Указатель наддува на приборной панели устанавливается, чтобы показывать давление во впускном коллекторе. Это значение давления, которое у Вас осталось от первоначального давления, созданного турбонагнетателем, после всех потерь на пути к впускному коллектору. Попробуйте иметь суммарные потери около 0,15 бара или, еще лучше, 10 % от давления наддува.

Рис. 14-5. Измерение потерь давления через корпус дроссельной заслонки. Вычитание показаний прибора 2 из показаний прибора 1, показывает потерю давления наддува на корпусе дроссельной заслонки.



### Давление на входе в турбину

Давление в выпускном коллекторе другими словами может быть названо давлением на входе в турбину. Это давление – опасная вещь. В конечном счете, можно считать, что давление на входе в турбину будет названо единственной опасной вещью, привнесенной в систему, но без которой не бывает турбонаддува. Давление на входе в турбину является нежелательной величиной потому, что оно почти всегда больше чем давление во впускном коллекторе, созданное турбонагнетателем. Когда это происходит, некоторая часть отработанного газа выталкивается обратно в камеру сгорания в течение фазы перекрытия клапанов. Эта ситуация вредна по причинам, которые объяснены в другом месте в этой книге.

Считается, что хорошая уличная система турбонаддува имеет отношение давления на входе в турбину к давлению во впускном коллекторе приблизительно 2. Если это отношение больше чем 2, турбонагнетатель слишком мал и заглушает систему выхлопа и не позволяет значительно увеличить мощность. Если отношение меньше чем

2, часто порог наддува будет выше желаемого для использования автомобиля. Это объясняется тем фактом, что, поскольку отношение снижается, мощность увеличивается. Фактически, одним из конструктивных параметров системы турбонаддува для гонок является то, что отношение давления на входе в турбину к давлению во впускном коллекторе меньше 1. Когда достигается момент, при котором давление на впуске становится большим чем давление на входе в турбину, турбонагнетатель начинает давать серьезную мощность. Это одна из причин того, что гоночные автомобили Формулы 1 в 87 году могли развивать мощность более чем 1000 л.с. при объеме 1500 кубических сантиметров. Может быть, наступит день, когда мы сможем съесть наш кусок пирога и еще кусок, когда турбины с переменной геометрией станут обычным делом. Они позволят иметь низкий порог наддува при условии, что давление во впускном коллекторе больше давления на входе в турбину, как только давление наддува стабилизируется на своем максимальном значении.

Измерение давления на входе в турбину требует немного больших усилий чем другие измерения, поскольку отработанные газы имеют очень высокую температуру.

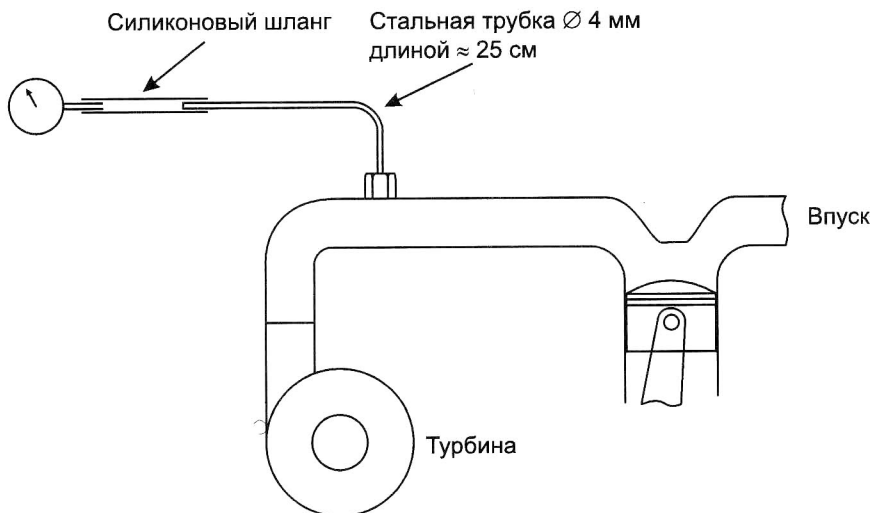


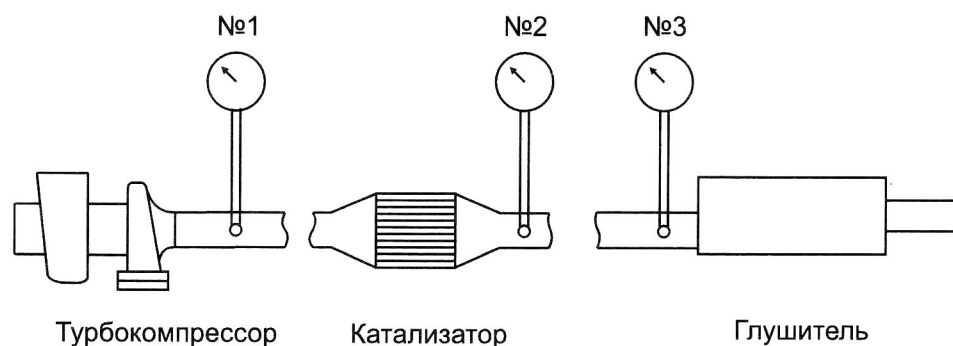
Рис. 14-6. Измерение давления на входе в турбину. Стальная трубка понизит температуру отработанных газов до приемлемого для силиконового патрубку уровня.

### Обратное давление в выхлопной трубе

Где Вы слышали сказку, о том, что обратное давление в выхлопной трубе необходимо, чтобы предотвратить обгорание выхлопных клапанов? Кто-то должен немедленно сообщить всем гоночным автомобилям, что у них серьезные проблемы. Обратное давление в выхлопной трубе может быть столь же опасным, как и давление на входе в турбину, но, по крайней мере, с ним легко можно что-то сделать. Потенциальная выгода – больше мощности, меньше количества теплоты в системе, совершенно точно, что это те цели, к которым надо стремиться. При измерении обратного давления в выхлопной трубе, также необходимо измерить влияние узких мест выхлопной системы, как показано на рисунке 14-7. При таких измерениях можно определить, какой вклад в общее обратное давление вносит выхлопная труба, каталитический нейтрализатор и глушитель.

Обратное давление в выхлопной трубе в некоторой мере влияет на величину давления на входе в турбину. Любое уменьшение давления в выхлопной трубе, которое может быть достигнуто, будет отражено в заметном уменьшении давления на входе в турбину.

Рис. 14-7. Определение влияния сужений выхлопной трубы. Прибор №1 показывает полное обратное давление в выхлопной трубе. №2 показывает обратное давление, создаваемое выхлопной трубой и глушителем. №3 показывает обратное давление, создаваемое глушителем. Показания №1 минус показания №2 это потеря давления в катализаторе, показания №2 минус показания №3 – потеря давления в выхлопной трубе.



### Соотношение воздух/топливо

Знание соотношения воздух/топлив – подобно знанию баланса вашей кредитной карты. Оно сообщает Вам, что вы имеете и где Вы находитесь, но не говорит, что Вы должны делать. Сейчас на рынке имеется много различных приборов для измерения соотношения воздух/топливо.

Приборы на основе датчика кислорода, имеющиеся на рынке, дадут Вам хорошую информацию, может быть недостаточно точную, но высокая точность становится с каждым днем дешевле. На сегодняш-

Рис. 14-8. Ставший уже практически стандартом при настройке и испытаниях систем турбонаддува измеритель соотношения воздух/топливо LM-1 от Innovate.





ний день портативные приборы для измерения соотношения воздух/топливо выпускают многие производители. Досточно упомянуть Innovate, AEM, TechEdge.

Измерение значений это ничего более чем оборудование и время. Оценка этих значений – это то, что потребует немного опыта. При испытаниях будут требоваться два существенных значения: AFR на номинальных режимах (при простой езде) и AFR при полностью открытой дроссельной заслонке (на режиме максимальной мощности). AFR на номинальных режимах, вероятно, будет в диапазоне от 14,0 до 15,0 к 1. Полностью открытая дроссельная заслонка – это те режимы, где нам нужно веселье и AFR должно быть близко к 12,5 или 13,0 к 1.

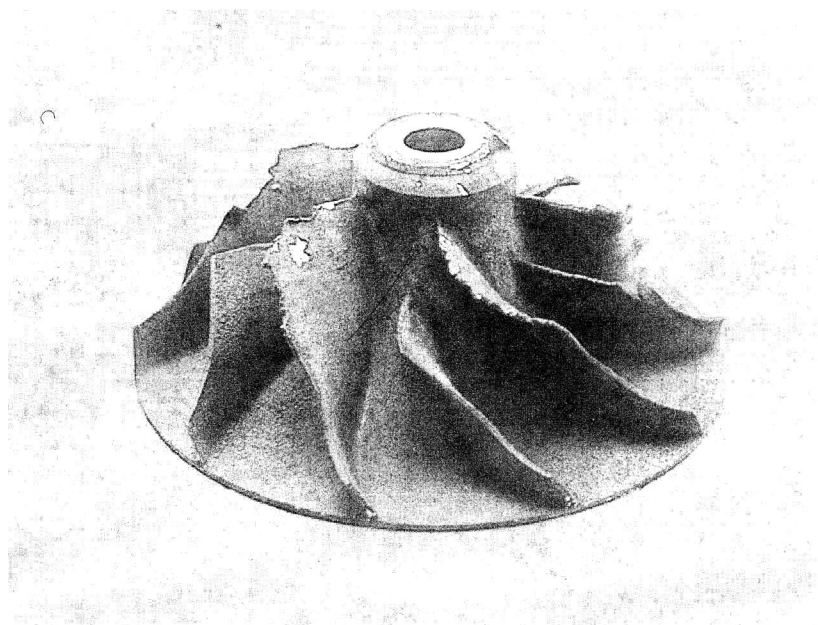
Для энтузиаста, датчик кислорода, который устанавливается в выхлопную трубу, будет хорошим выбором. Он может быть установлен там постоянно, и контролировать AFR можно так часто, как Вы захотите.

---

## Неисправности

При исследовании проблем в работе двигателя с турбонагнетателем, Вы должны помнить, что имеются две возможных категории. Первая категория включает те проблемы, которые могут случаться с любым двигателем, с турбонагнетателем или без него. Двигатели с турбонаддувом могут иметь проблемы со свечами зажигания, высоковольтными проводами, катушками, блоками управления зажиганием, блоками управления двигателем, механизмами газораспределения, водяными насосами, приводными ремнями навесных агрегатов, генераторами переменного тока, вышедшими из строя подшипниками, и... продолжать можно долго. В отношении этих проблем, двигатель с турбонаддувом не имеет никаких отличий от атмосферного двигателя. Сегодняшнее отношение к обслуживанию и ремонту автомобиля с турбодвигателем вообще ведет к несколько нелепой и смешной реакции, "независимо от характера неисправности, это неисправность этого проклятого турбо-

*Рис. 15-1. Самые плохие сценарии всегда неприятны, и непредвиденные последствия от работающей со сбоями системы турбонаддува не являются исключением.*



нагнетателя". Устранение общих проблем с двигателем, может быть найдено в другом месте и не входит в рамки этой книги.

Вторая категория – неисправности узлов системы турбонаддува, или проблемы, вызванные работающей со сбоями системой турбонаддува. Эта глава предлагает руководство по локализации и устранению этих проблем.

### Осмотр двигателя на предмет неисправностей, вызванных неправильной работой турбонагнетателя

Когда Вы сталкиваетесь с любой проблемой, которая даже отдаленно намекает на возможное повреждение двигателя, лучше проверить это быстрее. Убедитесь, что двигатель неповрежден, или сфокусируйтесь на устранении неисправности. Тревожные признаки – плохая работа на холостом ходу, потеря мощности, или синевато-серый или белый дым, выходящий из выхлопной трубы. Чрезмерный выход масляных паров из крышки клапанного механизма или системы вентиляции картера – также причина для беспокойства.

Подходящий метод проверки – испытание на утечку, которое показывает состояние компрессионных колец, клапанов впуска и выпуска, прокладки головки блока цилиндров, и присутствия трещин в блоке или головке блока цилиндров. Она производится путем опрессовки камеры сгорания и наблюдения за количеством утечек и местами утечки. Количество утечки измеряется путем регулирования давления сжатого воздуха в камере сгорания до удобного значения. 10 бар – наиболее удобное давление, поскольку давление, остающееся в камере сгорания – остаток в процентах после утечки. Утечку можно локализовать путем прослушивания выхлопной трубы на предмет утечек через выхлопные клапана, воздушного фильтра на предмет утечек через впускные клапана, и через крышку маслозаливной горловины на предмет утечки через поршневые кольца. Повреждение прокладки головки блока цилиндров или трещины в водяной рубашке, обнаружатся как пузыри в системе охлаждения.

Проверка на утечки должна быть выполнена на теплом двигателе, с обоими закрытыми клапанами и поршнем в верхней мертвой точке.

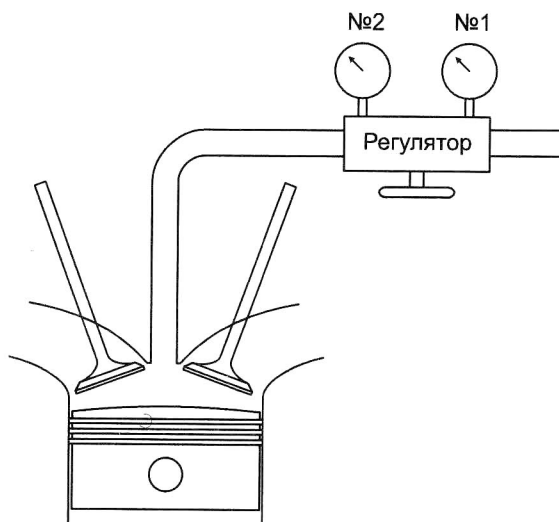


Рис. 15-2. Проверка на утечки – наиболее сложное испытание, изобретенное для определения целостности камеры сгорания. Регулятор контролирует давление в цилиндре. Манометр №1 показывает это давление. Манометр №2 показывает давление, остающееся в цилиндре после всех утечек.

Выводы по проведенным измерениям можно сделать по следующим значениям:

9,7 - 10 бар - Очень хорошо

9,2 - 9,6 бара - Пригодно к эксплуатации

8,9 - 9,1 бара - Хорошо, но меньше нормы

8,8 бара или меньше - Необходимо устранять неисправность

Проверка на утечку превосходит старый способ проверки компрессии по нескольким пунктам. Состояние батареи и стартера не имеет значения. Разница в зазорах клапанов не будет иметь значения. Положение распредвала не влияет на измерения.

Уплотнение прокладки головки блока цилиндров может легко быть проверено химическим способом, который распознает следы продуктов сгорания, которые нашли путь в систему охлаждения. Поищите этот продукт в магазине запчастей.

Область вокруг камеры сгорания - этим примерно и ограничены неисправности двигателя, вызванные турбонагнетателем. Маловероятно, что любое другое повреждение может быть даже отдаленно связано с турбонагнетателем.

*Рис. 15-3. Измеритель соотношения воздух/топливо - обязательный прибор для испытаний и поиска неисправностей.*



## Осмотр системы турбонаддува на предмет неисправностей

### **Двигатель не заводится**

Турбонагнетатель может создавать проблемы при запуске только, если неисправность связана с утечкой воздуха в системе. Это относится к автомобилям с впрыском, оборудованным датчиком массового расхода и карбюраторным системам с протяжкой воздуха. Утечка воздуха при наличии датчика массового расхода уменьшит величину сигнала датчика, создавая условия обеднения смеси при пуске. Это также спра-

ведливо для карбюраторной системы с протяжкой воздуха. Часто расходомер отвечает за включение топливного насоса. Таким образом, большая утечка может часто проявляться как неисправность топливного насоса. Система EFI, использующая датчик давления во впускном коллекторе, не будет иметь проблем с запуском из-за проблем с турбонагнетателем, поскольку утечки воздуха не имеют для нее никаких последствий. Карбюраторная система с протяжкой воздуха может иметь одну дополнительную проблему: попытка получить богатую смесь при холодном запуске через массу холодного металла. Это не проблема турбонагнетателя, а проблема конструкции – причина веская, чтобы не строить карбюраторную систему с протяжкой воздуха.

Обнаружение вакуумных утечек – стандартная диагностическая процедура. Та же самая техника применяется, когда присутствует турбонагнетатель, за исключением того, что утечка происходит наружу. Утечки наружу должны быть огромны, чтобы влиять на запуск. Ищите разьединенные шланги, большие трещины в шлангах, и другие подобные вещи.

### **Неустойчивый холостой ход**

Менее существенные утечки, чем те, которые вызывают затруднения при запуске, могут ухудшать качество холостого хода. Соотношение воздух/топливо на холостом ходе будет всегда критической регулировкой. Используйте требуемые приборы, и проведите соответствующие регулировки. Эти утечки будут, вероятно, происходить из корпуса дроссельной заслонки.

### **Пропуски зажигания**

Турбонагнетатель может создавать два условия, при которых в двигателе будут пропуски зажигания: обедненная смесь и необходимость более высокого напряжения, чтобы воспламенить более плотную смесь в камере сгорания. На автомобиле, оборудованном впрыском топлива, турбонагнетатель иногда может вызвать обеднение смеси при давлении во впускном коллекторе равном или около атмосферного давления. Это вызвано тем, что турбонагнетатель фактически будет поднимать давление со, скажем, 380 мм рт. ст. вакуума допустим до 250 мм рт. ст. Чтобы транспортное средство не разгонялось, нужно немного закрыть дроссельную заслонку, таким образом, сигнал от датчика положения дроссельной заслонки уменьшается. Этот сигнал снизит количество топлива при любом расходе воздуха, вызывая обеднение смеси.

Любые пропуски зажигания, при полностью открытой заслонке, вызванные обеднением смеси, очень серьезны, и нужно предпринять необходимые меры, перед тем как опять поднимать уровень наддува. Нехватка топлива значительно поднимает температуру в камере сгорания. Теплота – причина детонации, которая является Дамокловым мечем высокой эффективности. Любое обеднение смеси должно устраняться без промедления.

Обеднение топливовоздушной смеси может легко быть обнаружено некоторыми из портативных датчиков кислорода.

С необходимостью увеличенного напряжения на свечах зажигания иногда сталкиваются вследствие того, что смесь воздух/топливо в камере сгорания является фактически электрическим изолятором. Чем большее количество воздуха и топлива накачивает в камеру сгорания

турбонагнетатель, тем больше сопротивление, следовательно, большее напряжение нужно, чтобы создать искровой разряд в зазоре между электродами. Этой проблеме можно помочь, увеличив напряжение в системе зажигания и/или, установив новые свечи зажигания.

### **Потеря мощности**

Устранение такой проблемы как потеря мощности должно быть сосредоточено вокруг проверки и оптимизации давления наддува, установки угла опережения зажигания, соотношения воздух/топливо, датчика положения дроссельной заслонки, и обратного давления в выхлопной системе. За исключением датчика положения дроссельной заслонки, который и так понятен, все эти пункты объяснены в другом месте в этой главе.

### **Чрезмерное давление наддува.**

Превышение давления наддува – повод для беспокойства. Так как на вестгейт возложена ответственность за регулирование давления, это, конечно, первый кандидат на проверку, когда сталкиваются с превышением давления наддува. К неисправности могут иметь отношение следующие узлы вестгейта:

#### **Сигнальная линия**

Вестгейт может работать неправильно, если будет получать неправильный сигнал, сигнальная линия может быть забитой, или может иметь утечку. Проверьте обе причины. Также, проверьте соединения на обоих концах сигнальной линии.

#### **Привод вестгейта**

Фактически единственная часть привода, вызывающая отказ – внутренняя диафрагма. На интегрированном приводе, самая простая проверка – дунуть в сигнальный канал, сигнальный канал должен быть полностью закрыт. Любая утечка – доказательство неисправности и требует замены привода. Такая же проверка может использоваться на внешнем вестгейте, за исключением того, что давление должно прикладываться к атмосферной стороне диафрагмы. Сторона диафрагмы со стороны клапана почти всегда разрабатывается с учетом небольшой утечки вокруг штока клапана; таким образом, проверка клапанной стороны будет показывать утечку вокруг направляющей стержня также как и поврежденную диафрагму.

#### **Клапан вестгейта**

Клапан вестгейта может быть заклинен и не будет открываться, или может находиться в неправильном положении. Это требует снятия и разборки механизма клапана вестгейта, для выяснения и устранения причины.

#### **Расход газа**

Владелец системы турбонаддува собственного изготовления должен знать, что располагаемый расход газа через вестгейт должен быть больше требуемого. Это может также, при случае, огорчить изготовителей турбо-китов. Соответствие этих требований к расходу газа – проблема проекта, но не проблема поиска неисправностей. Если все уже проверено и ход вестгейта осуществляется должным образом, когда по-



дается сигнал давления, проверьте размер вестгейта – соответствует ли он требованиям системы.

### **Выхлопная труба**

Выхлопная труба может часто вызывать превышение давления наддува. Часто для нормальной работы вестгейта необходимо повышенное давление в выхлопной системе. Это особенно верно при использовании интегрированного вестгейта. Проблема может быть усугублена тенденцией производителей использовать турбины меньшего, чем нужно размера. Совокупность этих факторов может создать условия для превышения давления наддува, когда что-то в выхлопной системе ломается и понижает обратное давление. Разве это не было бы смешно – иметь ржавую дыру в глушителе вашего дорогого автомобиля с турбонагнетателем, которая создает проблему превышения давления наддува и ведет к отказу двигателя? Неудивительно, что американцы паркуют свои навороченные турбоавтомобили на зиму. Можно было бы обсудить так же то, что некоторые должны парковать их независимо от времени года.

### **Кожух турбины**

Если aftermarket турбосистема или система собственной постройки имеет проблему превышения давления наддува, но выхлопная труба и вестгейт в полном порядке, скорость вращения турбины может быть слишком высока для системы двигатель/турбонагнетатель. Это означает, что кожух турбины турбонагнетателя слишком мал, таким образом, превышает скорость вращения турбины и создает слишком высокое давление наддува. Ответ состоит в том, чтобы увеличить отношение A/R кожуха турбины, снизить скорость вращения турбины, которая в свою очередь уменьшит тенденцию к превышению давления наддува.

### **Низкое или медленно нарастающее давление наддува**

#### **Турбонагнетатель**

Несколько параметров турбонагнетателя могут являться причиной низкого или инерционного давления наддува. Большинство причин происходит или из-за плохо работающей новой установки или из-за старой системы с новыми проблемами.

#### **Размер турбонагнетателя**

Если турбонагнетатель слишком большой реакция, конечно, будет замедленной. Можно взять турбонагнетатель настолько большой, что он вообще не будет производить никакого давления наддува, потому что отработанных газов от двигателя недостаточно для его работы. Хотя это очень маловероятно, почти также маловероятно, что удастся выбрать оптимальный размер турбонагнетателя с первой попытки. Решение состоит в уменьшении размер кожуха турбины.

#### **Утечки на выхлопе**

Большие утечки отработанных газов перед турбиной могут вносить вклад в замедленную реакцию. Большие утечки будут не только слышны, они должны быть огромны. Если не найдено отверстие, в ко-

торое Вы можете вставить карандаш, не ожидайте, что причина замедленной реакции – утечки на выхлопе.

### **Гайка крепления колеса компрессора**

Гайка фиксации компрессора, если она незатянута, позволит валу проворачиваться внутри колеса компрессора. Необходим доступ к рабочему колесу турбины, для фиксации вала при затяжке гайки фиксации компрессора. Эти гайки вообще затягиваются с моментом приблизительно 25 кг\*см. Это может быть приблизительно так, затягивайте гайку, пока она не коснется колеса компрессора, затем поверните на четверть оборота. При затяжке гайки компрессора, важно не допускать никакой боковой нагрузки на вал турбины.

### **Отсутствие воздушного фильтра**

Износ рабочего колеса компрессора может понижать давление наддува. Работа без воздушного фильтра, в конечном счете, приведет к износу рабочего колеса компрессора до такой степени, что оно больше не сможет нагнетать воздух. Когда начинается процесс износа, рабочее колесо компрессора будет терять свою эффективность, приводя к повышению температуры воздуха, которая в свою очередь может приводить к проблемам с детонацией.

### **Вестгейт**

Механические неисправности, из-за которых вестгейт не может полностью закрываться, вызывают большую утечку выхлопных газов мимо турбонагнетателя, вызывая инерционную медленную реакцию.

Неисправный клапан вестгейта вообще редко будет препятствовать созданию нормального давления турбонагнетателем, но потребуются гораздо большие обороты двигателя, чтобы достигнуть нормального давления наддува. Если, например, клапан вестгейта заклинен в положении максимального давления наддува, система должна развить достаточно оборотов только для того, чтобы количество газов превысило размеры утечки перед тем, как создать какое-нибудь давление наддува.

### **Выхлопная труба**

Любые неисправности в выхлопной трубе, которые создают препятствие для выхода выхлопных газов, будут причиной более высокого порога наддува и/или более низкого значения максимального наддува. Проверьте давление в трубе выше любого возможного препятствия. Вообще, обратное давление более 0,7 бара, вызывает почти полную потерю наддува. Обратное давление более 0,15 бара нежелательно при любых обстоятельствах, даже если не вызывает потери абсолютного давления наддува.

### **Воздушный фильтр**

Если воздушный фильтр меньше требуемого размера или слишком загрязнен, то он не позволит системе функционировать на ожидаемом уровне. Это условие также создает плохой побочный эффект в виде увеличения температуры на впуске.

### **Впускные шланги компрессора**

Почти всегда, воздушный фильтр или измеритель расхода воздуха будут соединены с входом компрессора турбонагнетателя гибким па-

трубком того или иного вида. Если фильтр или расходомер являются узкими частями системы, возможно создание разрежения, достаточно, чтобы сплющить соединительные шланги. Обычный признак сплющенного шланга – внезапная потеря наддува. Сила, действующая на большие шланги от небольшой разницы давлений, может быть достаточно большой.

### **Пропуски зажигания**

Любые пропуски зажигания при работе с наддувом вызваны неисправностью системы зажигания или слишком бедной для горения топливовоздушной смеси. Отсутствие воспламенения смеси может быть вызвано неисправными свечами, проводами, катушкой зажигания или всеми перечисленными неисправностями одновременно. Если зажигание работает должным образом, то проблема может быть в соотношении воздух/топливо.

### **Потеря тяги**

Явная неисправность при полностью открытой дроссельной заслонке – чрезмерно богатое соотношение воздух/топливо, вызывающее падение тяги. Это проявляется в потере мощности, при полностью открытой заслонке, часто сопровождаемой черным дымом из выхлопной трубы.

Другой частой причиной потери тяги, также при полностью открытой дроссельной заслонке, является значительное уменьшение опережения зажигания. Неисправный датчик детонации может вызывать такие же признаки. Опасный побочный эффект позднего зажигания – значительное повышение температуры выхлопных газов. Повреждение выпускного коллектора и/или турбины могут стать следствием уменьшения опережения зажигания.

### **Детонация**

Металлический звук детонации – ясный сигнал того, что здоровье Вашего двигателя находится под угрозой. Все усилия должны быть сфокусированы на избавлении системы от детонации. Можно долго диагностировать разнообразные причины детонации, но двигатель с турбонаддувом, работающий с детонацией, должен рассматриваться как результат несерьезного подхода к проектированию. Вообще, все проблемы с детонацией возникают от одного из следующих шести пунктов. Вероятность каждого из них как источника проблемы – приблизительно соответствует порядку, в котором они перечислены.

#### **Октановое число**

Октановое число топлива – критерий его стойкости к самовозгоранию, или детонации. Чем больше октановое число, тем выше эта стойкость. Качество топлива относительно постоянно, но когда оно под сомнением, желательно сменить марку топлива.

#### **Настройка зажигания**

Неправильная установка угла опережения зажигания редко является неисправностью системы, скорее всего это неточность регулировки. Проверка статического и максимального угла опережения зажигания практически всегда покажет имеющееся несоответствие в системе за-

жигания. Система управления углом опережения зажигания по датчику детонации может быть причиной многих неисправностей, одна из которых – ошибка в распознавании детонации и действиях по ее устранению.

Если возможна неисправность датчика детонации, обратитесь к инструкции по эксплуатации системы или, в случае штатной системы, к инструкции к транспортному средству.

### **Бедная смесь**

Обедненная рабочая смесь способствует детонации, потому что меньшее количество испаренного топлива, поглощает меньшее количество теплоты. Таким образом, бедная смесь увеличивает количество тепла, основной причины детонации. Двигатель с турбонаддувом требует слегка более богатых смесей, чем обычный атмосферный двигатель, при этом дополнительное топливо действует подобно жидкому промежуточному охладителю. Назовем это штатным промежуточным охладителем.

### **Противодавление отработанных газов**

Слишком маленькая турбина будет блокировать выхлопные газы в выпускном коллекторе, или является, в некотором смысле, сужением в выхлопной системе и приведет к увеличению обратного давления в системе. Противодавление удерживает горячие газы в камере сгорания. Неисправность любого вида, которая увеличивает противодавление, серьезно ухудшает детонационную стойкость двигателя.

### **Промежуточный охладитель**

Промежуточный охладитель серьезно влияет на порог детонации двигателя с турбонаддувом. Что-нибудь, что снижает эффективность промежуточного охладителя, понижает порог детонации. Кроме удаления различного мусора, вроде клочков газет, застрявшего перед промежуточным охладителем, единственное необходимое периодическое обслуживание состоит в удалении масляного налета изнутри, который накапливается при нормальной эксплуатации. Масляный налет заметно уменьшает эффективность промежуточного охладителя.

### **Температура окружающей среды**

Бывают дни, когда все работает не так как должно, и температура окружающей среды, конечно, вносит в это свой вклад. Системы турбонаддува, работающие с высокими уровнями наддува, обычно работают на грани порога детонации и могут легко преодолеть эту страшную границу, если температура окружающей среды изменится в худшую сторону. Разработки относительно сезонных и ежедневных изменений температуры окружающей среды не входят в область рассмотрения этой книги.

### **Итоги главы**

*Что такое детонация, и почему она так разрушительна?*

Детонация – самовозгорание топливовоздушной смеси перед фронтом горения – взрывное сгорание, в отличие от управляемого горения. Она происходит после того, как начался процесс сгорания и обычно начинается в самой дальней от фронта пламени области камеры сгорания. Поскольку фронт пламени распространяется через камеру,

---

давление и температура оставшейся топливовоздушной смеси возрастают. Если при этом превышает температура самовоспламенения, оставшаяся смесь взрывается. Слышимый при этом звон – ударная волна взрыва.

Детонация чрезвычайно разрушительна. Это результат воздействия температур, которые в центре взрыва могут достигать 10000<sup>0</sup>С. Пики давления, вызванные взрывом, могут достигать нескольких сотен бар, а скорость нарастания давления достаточно высока, чтобы рассматривать её как ударную динамическую нагрузку. Температуры и давления, сопровождающие детонацию, почти в десять раз выше, чем при управляемом горении смеси.

Никакие металлы, существующие сегодня, никакие кованные поршни, и никакие специальные прокладки головки блока цилиндров не могут противостоять детонации. Так же имейте ввиду, что при частоте вращения 6000 оборотов в минуту, за одну секунду в каждой камере сгорания могут происходить пятьдесят детонационных взрывов. Таким образом:

***Если Вы слышите звук детонации – снимите ногу с педали.***

---

# Будущее турбонаддува

## Сегодня

При помощи турбонаддува, эффективный, отвечающий требованиям к выхлопу автомобиль сегодняшних дней улучшил свои характеристики больше чем любой другой класс транспортных средств за все время.

Автомобильные инженеры создали набор средств управления с такими исключительными технологиями, что сегодняшний мощный уличный автомобиль может иметь меньший расход топлива, чем вчерашний экономичный автомобиль, а сегодняшний экономичный автомобиль часто может быть мощнее вчерашнего суперкара. Высокие технологии, примененные к поставленной задаче автомобильными инженерами, постоянно расширяющими границы, дали результат в виде многочисленного парка автомобилей, которые лучше функционируют, более экономичны, имеют больший ресурс, требуют меньшего обслуживания, и при этом доставляют удовольствие от их вождения. Что сделали специалисты, чтобы достичь таких успехов? Они изобрели новое оборудование. Они хорошо его оптимизировали и настроили его в строгих рамках. Оно изготовлено под строгим контролем и является высоконадежным. Нет никакого сомнения в высокой надежности электронных систем управления двигателем по сравнению с контактными системами зажигания, распределителями зажигания и карбюраторами. Технологии, развитые, чтобы отвечать сегодняшним требованиям, прежде всего, представляют собой электронную систему впрыска топлива, микропроцессорное управление углом опережения зажигания, обратную связь по датчику кислорода и каталитический нейтрализатор.

Комбинация этих четырех пунктов – ключ к получению высоких характеристик автомобиля и экономии, в которой мы нуждаемся для обеспечения низких выбросов. Все эти пункты имеются и у aftermarket производителей. Технически возможно использовать эти элементы оборудования, тщательно их настраивать, и создавать полностью сертифици-



фицированное транспортное средство в рамках технических требований. Для начала нужно, во-первых, узнать эти правила. Следуйте им, изучите их, и пусть они будут руководящим принципом, по которому создан проект.

### Будущее

Это интересное время для автомобилей с высокими характеристиками. Инженерные разработки, качество, высокие характеристики, экономичность, низкие выбросы и высокая долговечность – все это будет и далее совершенствоваться. Кажется, мы только познакомились с новой моделью автомобиля, как тут же появляется другая, а предыдущая становится старой и неактуальной. Поэтому предсказание пути развития систем турбонаддува и всего связанного с ними становится временным и вызывающим сомнения.

Если все это произойдет, а так скорее всего и будет, большая работа будет проделана в трех различных областях: турбонагнетатель, оборудование, относящееся к турбонагнетателю, и соответствующие требованиям двигателя.

### Усовершенствование турбонагнетателя

Любое усовершенствование турбонагнетателя было бы нацелено на то, чтобы заставить его быстрее достигать скоростей, на которых он начинает создавать давление наддува. Если турбонагнетатель можно было бы сделать мгновенно отзывчивым, форма кривой крутящего момента обычного атмосферного двигателя и двигателя с турбонаддувом была бы по существу одной и той же. Это – желаемая цель. Так как достичь этого пока еще не возможно, развитие турбонагнетателей пойдет по двум направлениям: потери в подшипниках и корпус турбины с переменным отношением A/R.

### Потери в подшипниках

Мощность, потраченная впустую в подшипниках турбонагнетателя это потери на трение в масляной пленке в подшипнике при вращении вала. Эти потери являются относительно большими на низких скоростях вращения, когда мы располагаем небольшой энергией выхлопных газов, чтобы привести турбину в действие, но их доля снижается до достаточно низкого значения на высоких скоростях вращения. На высоких оборотах достаточно энергии выхлопных газов, чтобы тур-

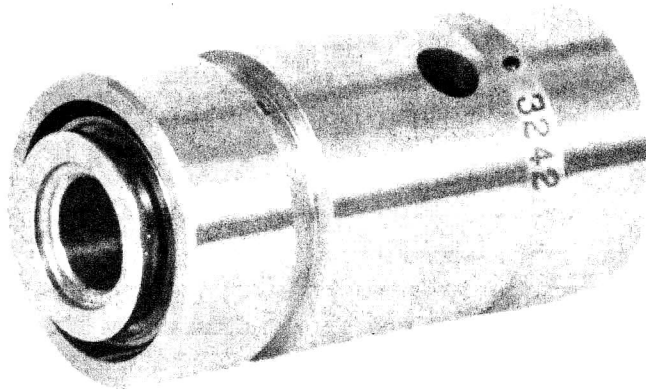
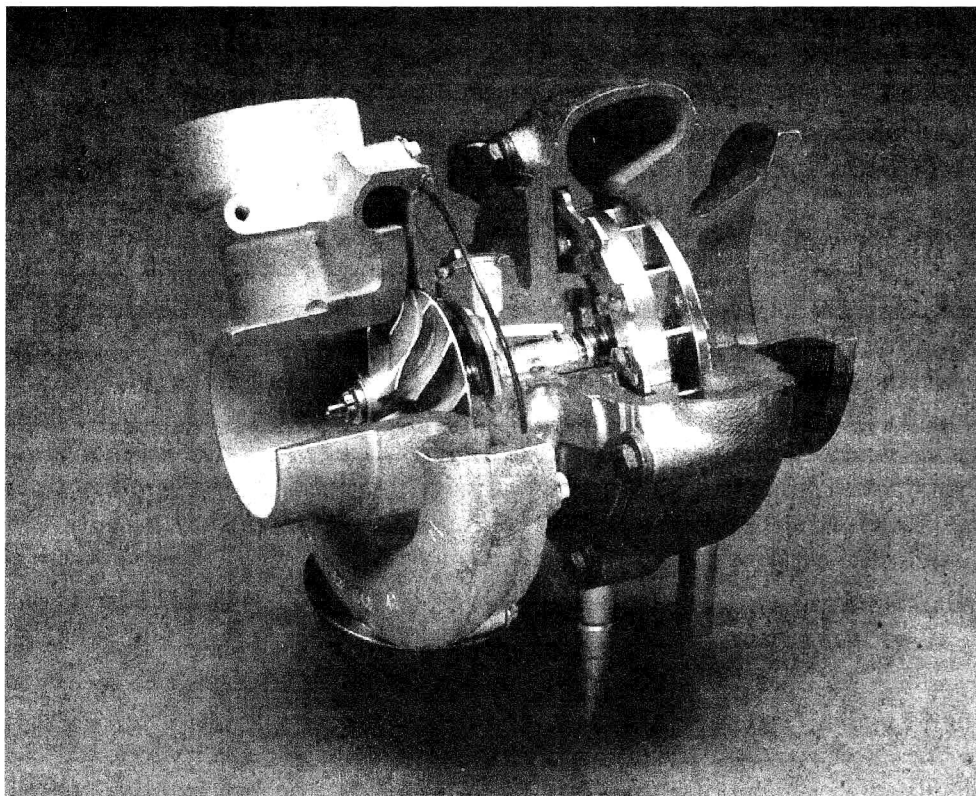


Рис. 16-1. Шарикоподшипниковая опора вала турбонагнетателя.

бонагнетатель работал столь быстро, чтобы пугать большинство журналистов. Фактическая мощность, потерянная в подшипниках, тем не менее, достаточна, чтобы косить лужайку у дома. Если эти потери мощности можно было бы использовать для раскручивания турбонагнетателя на низких оборотах, раскрутка турбины происходила бы гораздо быстрее.

Подшипники низкого трения могут быть реализованы тремя способами: валы меньшего диаметра, шарикоподшипники или воздушные подшипники. Каждый из этих путей имеет свои проблемы. Валы меньшего диаметра создают более высокие нагрузки в подшипниках и ухудшают критические частоты вибрации. Необходим серьезный инженерный подход, чтобы заставить их работать.

*Рис. 16-2. Поперечный разрез современного турбонагнетателя*



Шарикоподшипники сулят большие перспективы в области снижения трения. Жесткий контроль качества, необходимый, чтобы подшипники работали при высоких скоростях вращения вала турбонагнетателя – серьезная задача для инженеров-технологов. Это возможно и конечно будет сделано в один прекрасный день и будет доступно нам для использования. Готовность некоторых автопроизводителей потратить лишние двадцать пять долларов на автомобиль для усовершенствования качества шарикоподшипников с низким трением в турбонагнетателе – ситуация, которая приближается с каждым днем. Высокие характеристики теперь столь же конкурентоспособны как любое другое качество автомобиля.

Воздушные подшипники могут быть использованы в определенных узлах, где стоимость становится менее важным фактором. Технология изготовления воздушных подшипников хорошо разработана, но контроль качества снова становится серьезным барьером для массового

производства. Это подшипники с самым низким трением и их применение привело бы к существенному улучшению характеристик турбонагнетателей.

Глядя на сегодняшние мировые технологии в производстве, можно выбирать шарикоподшипники как дальнейшее развитие турбонагнетателя.

### Корпус турбины с изменяемым соотношением A/R

При других неизменных параметрах, меньшее соотношение A/R кожуха турбины понижает обороты, при которых турбонагнетатель начинает создавать давление наддува. Это же самое низкое соотношение A/R кожуха турбины вызовет все более и более возрастающее обратное давление выхлопных газов, когда количество выхлопных газов будет возрастать при увеличении оборотов двигателя. Большие соотношения A/R обеспечивают большую мощность из-за уменьшенного обратного давления, но точно не подходят для работы на низких оборотах.

Хотя и не так широко как хотелось бы, но выпускаются турбонагнетатели, имеющие конструкцию, обеспечивающую малое A/R на низких оборотах двигателя и большое A/R при более высоких оборотах.

Такая конструкция называется кожух турбины с переменным A/R. Она действительно предлагает достоинства и большого и маленького соотношения A/R в одном турбонагнетателе. Турбонагнетатель такой конструкции становится еще ближе к мгновенному отклику, который мы хотим получить. Она также позволяет получить кривую крутящего момента по форме близкую к кривой крутящего момента двигателя большого объема на низких оборотах. Вероятно, популярны будут два типа агрегатов с переменным соотношением A/R. Относительно простая конструкция раздвоенного кожуха турбины – недорогой механизм, который может оказаться адекватным, когда оценены все его качества.

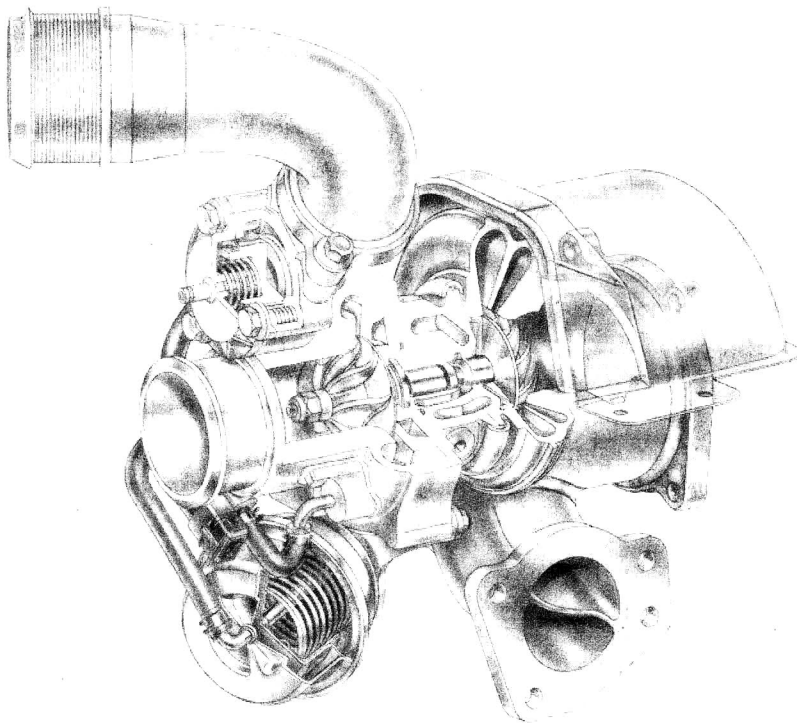


Рис. 16-3. Поперечный разрез турбонагнетателя с Twin scroll turbine housing.

Другая конструкция – VATN (variable area turbine nozzle, сопловой аппарат турбины переменного сечения). VATN затмевает все другие варианты конструкции настолько, что является выигранным билетом.

### **Twin scroll turbine housing (Раздвоенный кожух турбины) или TST**

Раздвоенный кожух турбины получил свое название из-за геометрии входного отверстия для выхлопных газов в турбину. Используются два канала различного размера, первичный и вторичный. Как правило, первичный канал открыт на низких оборотах, а на высоких оборотах открыты оба канала. Это обеспечивает TST возможность иметь низкое A/R на низких оборотах и большое A/R на более высоких оборотах двигателя.

Конструкция TST представляет интерес потому, что она предлагает лучшую комбинацию реакции турбонагнетателя на низких оборотах и высокой мощности на высоких оборотах двигателя. Было бы трудно создать систему, управляющую наддувом, путем изменения A/R. Поэтому нам все еще необходим вестгейт для управления давлением наддува. Простота раздвоенного кожуха турбины – важное качество этой системы.

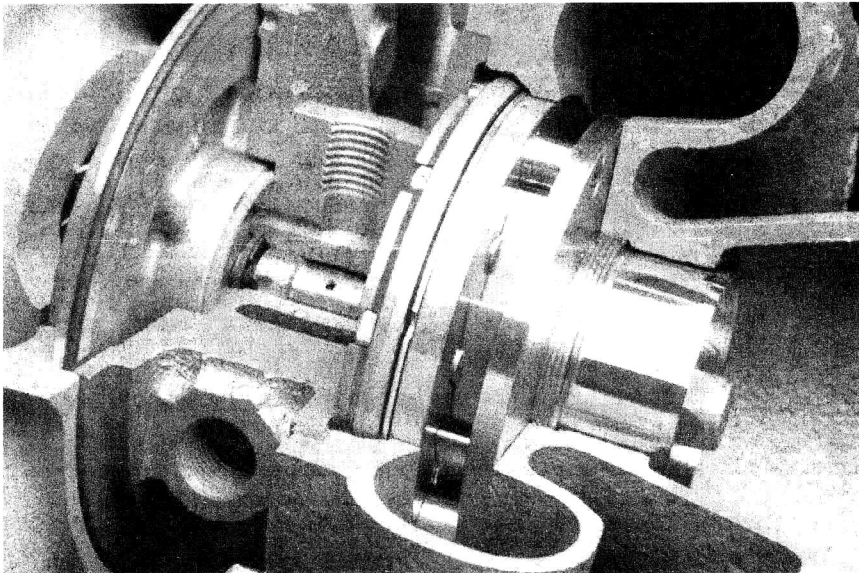
### **Variable area turbine nozzle (сопловой аппарат турбины переменного сечения)**

VATN – абсолютно новое слово в турбонаддуве. Лопатки VATN поворачиваются, изменяя площадь через которую протекают выхлопные газы, при этом изменяется скорость выхлопных газов на входе в рабочее колесо турбины, и таким образом изменяя скорость ее вращения. VATN имеет несколько интересных особенностей: система работает с низким соотношением A/R когда это необходимо, а когда нужно – с большим A/R, при этом система обеспечивает плавное изменение A/R между этими двумя крайними точками. VATN может создать такое большое соотношение A/R, что скорость турбины во всем рабочем диапазоне будет управляться только путем изменения соотношения A/R. Таким образом система VATN становится системой управления давлением наддува, и теперь нам не нужен вестгейт. Когда в системе нет вестгейта, вся энергия выхлопных газов доступна для привода компрессора, и термин "waste" – "отходы" можно забыть.

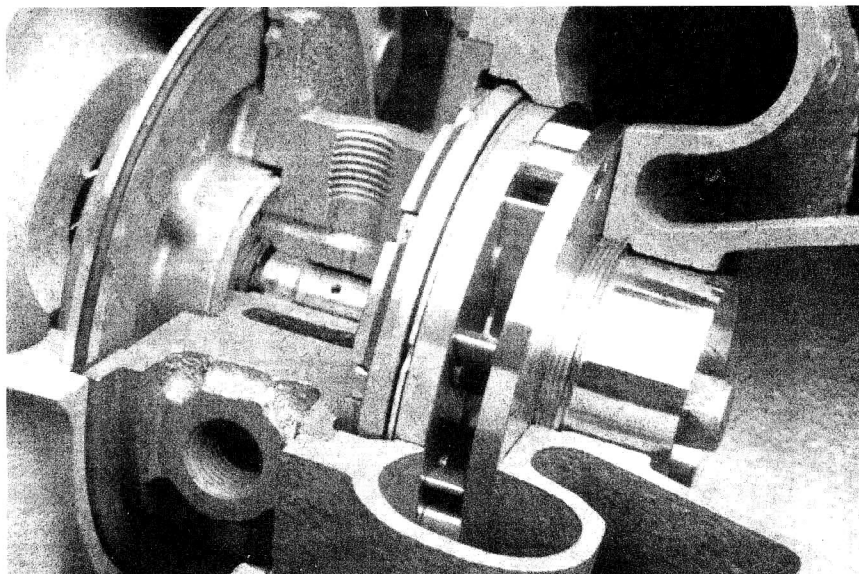
Характеристики турбины теперь могут иметь совершенно другие значения. Так как скорость турбины теперь всегда управляется при помощи VATN, соотношение A/R всегда будет наибольшим для данного давления наддува. Если бы A/R было меньше, скорость турбины увеличилась бы, создавая большее давление, которое подняло бы скорость турбины, которая снова поднимет давление. Это позволяет обеспечить минимальное обратное давление выхлопных газов для любого заданного давления наддува. При этом возможна ситуация, когда противодавление на выходе газов будет меньше чем давление наддува. Когда происходит этот "переход", увеличение мощности переходит на новый уровень. Это условие вообще не выполнимо с обычными турбинами без применения турбины настолько большой, что она становится бесполезной на низких оборотах.

Успех VATN прямым образом зависит от правильного положения лопаток в нужное время, которое зависит от "интеллекта" контроллера

положения лопаток. Изменяющиеся условия нагрузки требуют, чтобы контроллер обеспечивал правильное A/R именно для данных условий. Условия нагрузки на установившемся режиме требуют, чтобы лопатки были полностью открыты для обеспечения наименьшего возможного обратного давления. На открытие дроссельной заслонки регулятор должен обеспечить требуемый наддув и закрывать лопатки, чтобы позволить турбине увеличить скорость вращения настолько быстро насколько это возможно. Как только достигнут желаемый уровень наддува, лопатки постепенно откроются при повышении частоты вращения двигателя, чтобы управлять скоростью турбины и таким образом



*Рис. 16-5. Работа системы VATN. Когда сопловые аппараты почти закрыты (вверху), скорость выхлопных газов высока и это обеспечивает раскрутку турбонагнетателя на низких оборотах двигателя. Когда обороты двигателя увеличиваются, а с ними увеличивается количество выхлопных газов - лопатки соплового аппарата открываются (внизу).*



давлением наддува. Должен быть обеспечен достаточный диапазон поворота лопаток, для того, чтобы двигатель достигал максимальных оборотов прежде, чем лопатки будут полностью открыты. Теперь совершенно ясно, что контроллер VATN является ключом к тем выгодам, которые можно получить от применения VATN.



Рис. 16-6. Время реакции VATN-турбонагнетателя и обычного турбонагнетателя. Время, требуемое VATN, чтобы создать давление, составляет приблизительно половину времени требуемого для стандартного турбонагнетателя.

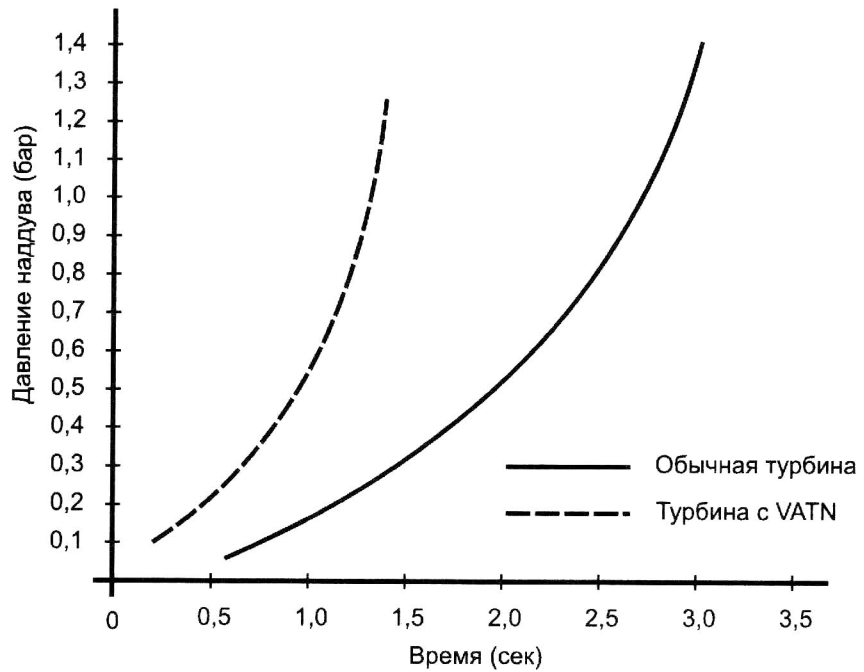
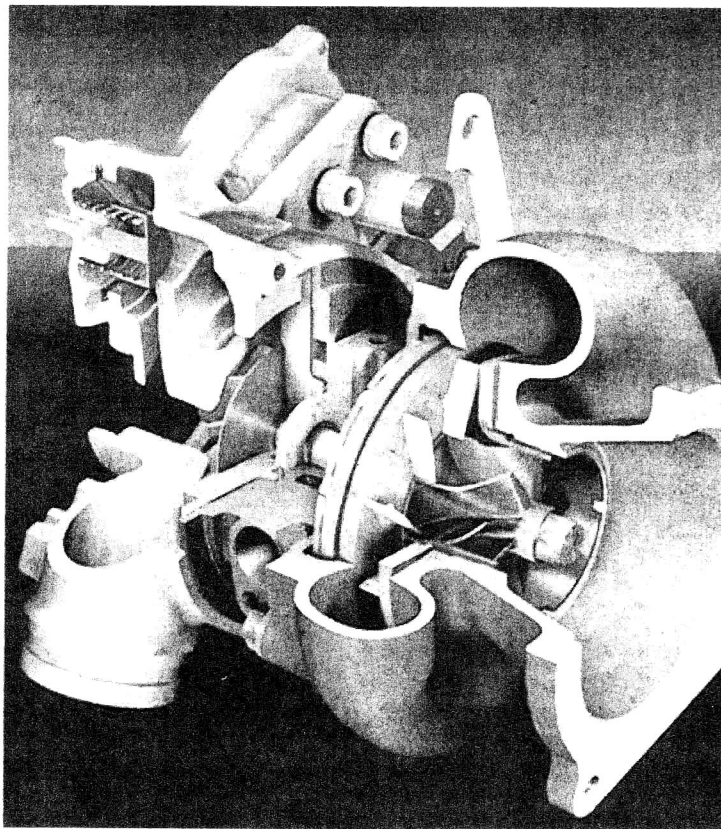


Рис. 16-7. Поперечный разрез турбонагнетателя с системой изменяемой геометрии турбины. Сложность - плата за отличную реакцию турбонагнетателя.





## Выбор размера турбоагнетателя

Немногие из сегодняшних автомобилей с турбодвигателями оборудованы турбоагнетателем требуемого размера. Причина этого – неправильное понимание маркетологами желаний конечного пользователя. Конечный пользователь хочет мощный автомобиль, а не тот, который может создать наддув на низких оборотах. Когда и если основные автопроизводители установят размеры турбоагнетателей для энтузиастов, мы увидим увеличение мощности, уменьшение температуры на впуске, хорошую эластичность, и вообще улучшение в разумных безопасных пределах – все это возможно при простом изменении размеров турбоагнетателя.

## Керамические турбины

Значительное сокращение момента инерции турбоагнетателя может быть достигнуто путем применения керамических материалов

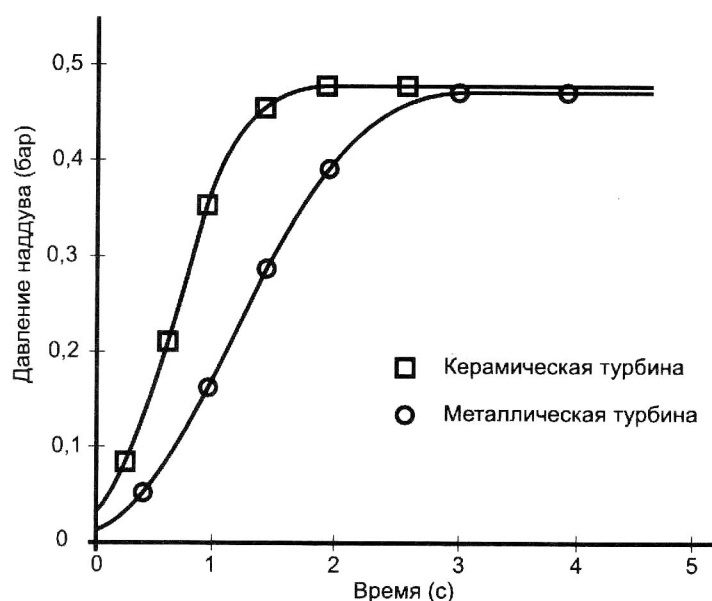


Рис. 16-8. Керамическая турбина меньшего веса обеспечивает быструю раскрутку турбоагнетателя до рабочих оборотов.

вместо металла для изготовления рабочего колеса турбины. Хотя это и прекрасная идея улучшает отклик турбоагнетателя, керамическая турбина является дорогой и хрупкой. Уже сейчас керамические турбины доказывают свое превосходство над традиционными.

## Композитные материалы

Углеродные композитные материалы имеют высокую прочность и соотношение прочности к весу. Возможность снижения инерции рабочего колеса компрессора при применении композитных материалов, кажется привлекательной. Дальнейшее сокращение инерции компонента с самой низкой инерцией в турбоагнетателе возможно заслуживает внимания, но логичней сначала улучшить слабые места, а колесо компрессора – не самое слабое место.

Общие улучшения. Без торжественных фанфар, соответствующих внедрению революционных компонентов, большинство деталей в турбоагнетателе будут становиться все эффективней и надежней. Потери

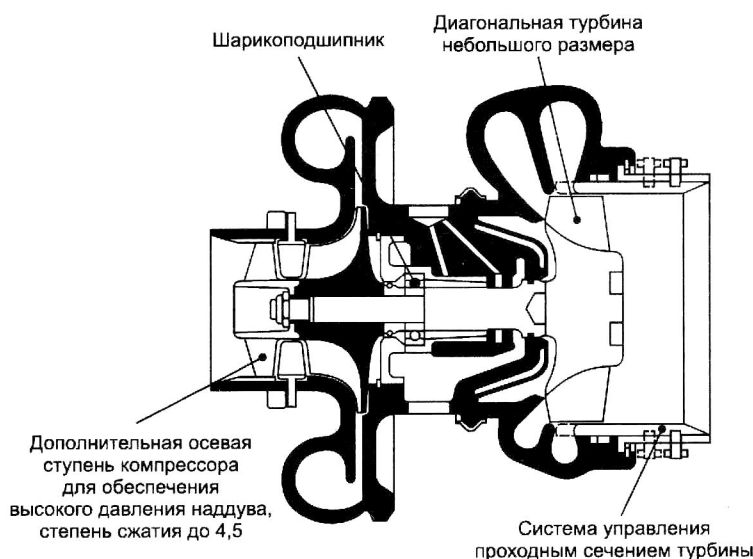
в подшипниках будут ползти вниз, инерция вращающихся масс уменьшится, отвод тепла улучшится, эффективность турбины и компрессора будет медленно, но уверенно улучшаться. Стабильный прогресс, но никаких серьезных изменений.

## Оборудование, относящееся к турбонагнетателю

### Промежуточное охлаждение

Хотя научные основы промежуточного охлаждения известны автомобильным конструкторам всего мира, следующие несколько лет должны продемонстрировать значительные усовершенствования в этой области. Усовершенствования будут выражены изменением в компоновке. Когда одна из крупнейших автомобильных компаний строит автомобиль, который она называет Супер Купе, и размещает интеркулер в таком месте, что единственный путь для охлаждающего воздуха проходит через радиатор системы охлаждения и радиатор кондиционера, это проблема компоновки. Возможно, что интеркулеры с холодильником могут однажды получить практическое применение. Потребуется новые процессы и методы, поскольку холодильные компрессоры по-

Рис. 16-9. Возможно турбонагнетатели будущего заимствуют конструкцию этого проекта, с изменяемой геометрией турбины и осевой ступенью компрессора, расположенной перед центробежной ступенью.



требляют больше мощности, чем могут добавить лучшие интеркулеры. Периодически подключаемый интеркулер, когда нагнетаемый воздух направляют непосредственно в двигатель на всех давлениях наддува, когда нет необходимости в охлаждении, может однажды улучшить отзывчивость всей системы.

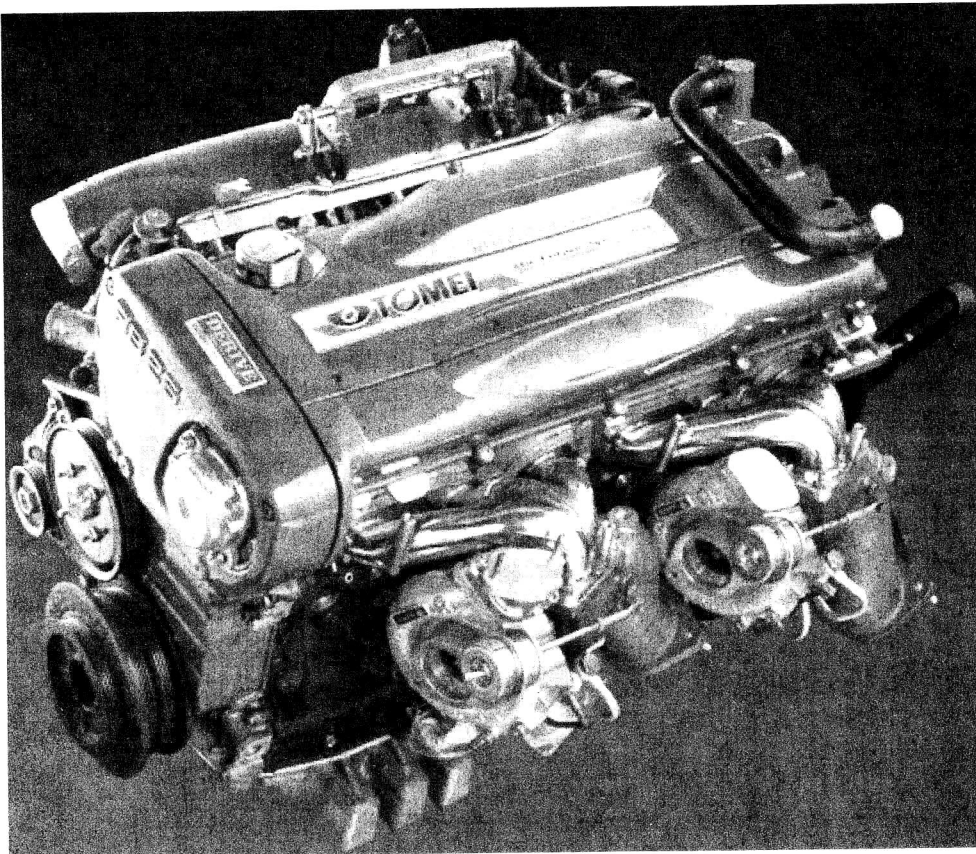
### Управление давлением наддува

Правильное управление вестгейтом может сделать турбину более отзывчивой, а так же улучшить кривую крутящего момента. В то время как на максимальную мощность повлиять можно незначительно, кривая крутящего момента с приподнятым одним или обоими концами, позволила бы автомобилю быть более динамичным. Электронное управление сигналом привода вестгейта будет той основой, которая обеспечит эти улучшения. Обычные вестгейты начинают открываться в точке значительно ниже желаемого наддува и затем ползут к положе-

нию, требуемому для управления давлением наддува. Такое раннее открытие отнимает у турбины полезную энергию, из которой можно было бы извлечь пользу, увеличив скорость вращения. Наличие вестгейта, который открывается и пускает в обход турбины существенную долю энергии, когда турбина нуждается в ней – изначально является не совсем рациональным. Электроника изменит эту ситуацию. Подъем нижнего конца кривой крутящего момента или сглаживание ровного участка на этой кривой может быть достигнуто программированием сигналов наддува. Так же могут быть запрограммированы различные уровни наддува для разных передач.

### Система выпуска

Фактически все выхлопные системы, выпускаемые в настоящее время, чрезмерно ограничены. Создаваемое выхлопной системой обратное давление совершенно ненужно. Возможно создать тихую выхлопную систему с низким обратным давлением такой же стоимости, как и те, которые неудачно спроектированы. Это позволило бы тем же самым системам турбонаддува работать с той же самой мощностью с более низкой температурой, меньшим наддувом, и намного большим диапазоном безопасной работы.



*Рис. 16-11. Двигатель Nissan RB26DETT разработан для автомобиля Nissan Skyline GTR. Оснащен двумя турбонагнетателями и нацелен на высокую мощность. Все в его конструкции подчинено поставленной цели.*

### Двигатель

Разработанный с "чистого листа" двигатель для турбонаддува не слишком сильно отличался бы от обычного. Однако изменились бы многие детали:

- взаимное расположение турбонагнетателя и каталитического нейтрализатора было бы сделано наоборот, чтобы уменьшить вредные выбросы при холодном запуске. При этом, конечно, страдала бы реакция турбины, но турбонагнетатель, оснащенный VATN, исправил бы ситуацию и восстановил бы потерянную реакцию.
- Частота вращения двигателя, вероятно, была бы уменьшена. С увеличением крутящего момента в широком диапазоне оборотов, обеспечиваемым турбонагнетателем, высокие обороты больше не нужны, чтобы развить требуемую мощность. Более низкие частоты вращения двигателя уменьшили бы также вес деталей и трение.
- При более низких частотах вращения двигателя мы получаем возможность использовать в своих интересах двигателя с более длинным ходом и меньшим диаметром цилиндра. По причинам, захороненным в туманных глубинах термодинамики, двигатели с более длинным ходом могут иметь большую топливную экономичность.
- Меньшие впускные и выпускные каналы улучшили бы характеристики крутящего момента на низких оборотах двигателя, обеспечивая более высокие скорости воздушного потока на впуске, таким образом, улучшая наполнение цилиндров за счет увеличенного импульса движущейся массы воздуха. Турбонагнетатель будет обеспечивать крутящий момент в остальном диапазоне оборотов двигателя.
- Число соединительных элементов "головка цилиндра - блок" должно быть увеличено. Большее количество меньших шпилек, скажем шесть на цилиндр, можно было бы установить из-за уменьшенных размеров каналов впуска.
- С высокой температурой будут иметь дело, по крайней мере, два изменения. Во-первых – распыление масла на днище поршней или каналы для масла в поршнях могут значительно увеличить стойкость поршней к перегреву, уменьшая рабочие температуры. Во-вторых, выпускной канал будет теплоизолирован, чтобы уменьшить теплопередачу к головке блока и охлаждающей жидкости. Это ускорит включение катализатора (время реакции катализатора, для достижения минимальной рабочей температура при холодном запуске), уменьшит размеры радиатора, и сохранит высокую температуру газов для улучшения реакции турбины.
- Электронные системы управления будут играть еще большую роль в управлении двигателем с турбонаддувом. Функции сегодняшних систем управления двигателем будут расширены для управления системой VATN, давлением наддува, и, конечно, опережением зажигания и топливоздушную смесь, поскольку они влияют на детонацию.

---

# Глоссарий

**Абсолютная температура.** Подобно абсолютному давлению, абсолютная температура имеет начало отсчета там, где не существует никакой теплоты. Это приблизительно  $273^0$  ниже  $0^0\text{C}$ . Градус абсолютной температуры имеет ту же самую размерность, как и градус Цельсия. Точка замерзания воды ( $0^0\text{C}$ ) на  $273^0$  выше абсолютного нуля, или  $273^0$  абсолютной температуры.

**Абсолютное давление.** Этот термин относится к давлению, измеренному по шкале, которая имеет начало отсчета приблизительно на 1 бар (на уровне моря) ниже атмосферного давления. Это истинное измерение всего давления, в отличие от измерения давления выше атмосферного. См. **относительное давление**.

**Атмосферный.** Это слово обычно означает двигатель, работающий без компрессора какого либо типа. Например - газонокосилка имеет атмосферный двигатель.

**Байпасный клапан (перепускной клапан).** Байпасный клапан позволяет потоку воздуха выходить, минуя турбонагнетатель, когда двигатель работает не под наддувом.

**Бедная смесь.** Бедная смесь означает недостаточное количество топлива для обеспечения правильного соотношения воздух/топливо при существующих условиях работы двигателя.

**Богатая смесь.** Состав смеси, в котором слишком много топлива, по сравнению с мощностным составом воздушно-топливной смеси, называется богатым составом

**Вестгейт (Wastegate).** Вестгейт - клапан, управляемый давлением наддува, который обеспечивает подачу к турбине количества выхлопных газов, необходимого для создания заданного давления наддува. Вестгейт направляет лишние выхлопные газы в обход турбины, в выхлопную систему.

**Давление наддува.** Давление наддува это давление выше атмосферного, измеренное во впускном коллекторе. В этой книге для измерения давления используется единица давления бар. 1 бар равен  $1,0197 \text{ кг/см}^2$  или  $100000 \text{ Па}$  или  $0,99 \text{ атм.}$  или  $14,7 \text{ пси.}$

**Детонация.** Детонация это самовоспламенение топливо-воздушной смеси перед фронтом горения. Когда давление и температура превышают значения, требуемые для управляемого горения, смесь самовоспламеняется. Металлический звук, слышимый при этом, это звук ударной волны, сопровождающей взрыв топливо-воздушной смеси, соударяющейся со стенками цилиндра.

**Длительность импульса.** Количество времени, измеренного в тысячных долях секунды (мс), в течении которого форсунка впрыска топлива открыта при одном импульсе. Длительность импульса – относительная оценка количества топлива, поданного в один цилиндр за один цикл.

**Инерционная нагрузка.** Инерционная нагрузка – нагрузка созданная весом и ускорением. Более тяжелый поршень создает большую инерционную нагрузку. Аналогично, увеличение частоты вращения двигателя означает большее ускорение и, таким образом, большую инерционную нагрузку.

**Компрессор.** В этой книге, компрессор это собственно воздушный насос – передняя половина турбонагнетателя, сквозь который проходит впускной воздух. Он также часто упоминается как «холодная» сторона.

**КПД (эффективность) компрессора.** КПД - отношение того, что есть в действительности к тому, как должно быть. В случае компрессора, изменение температуры, вызванное сжатием воздуха, больше того, что показывают термодинамические формулы. КПД компрессора преобразовывает расчетное увеличение температуры в реальное увеличение температуры.

**КПД промежуточного охладителя.** КПД промежуточного охладителя определяется тем, сколько тепла он отводит относительно тепла, добавленного компрессором.

**Крутящий момент.** Скручивающее усилие, вызываемое поворотом коленчатого вала, называется крутящим моментом. Он измеряется в фунтах на фут, фунтах на дюйм, килограммах на метр или в ньютонах на метр.

**Лаг (задержка).** Лаг - задержка между изменением положения дроссельной заслонки и созданием заметного давления наддува, при работе двигателя в диапазоне частот вращения при которых может быть создано давление наддува.

**Мм рт. ст..** Эта фраза читается "миллиметры ртутного столба" и является всего лишь значением величины давления по другой шкале. В этой книге давление в мм рт. ст. относится к величине разрежения во впускном коллекторе, и измеряется вниз от атмосферного давления. Например, разрежение на оборотах холостого хода обычно около 457 мм рт. ст. И по мере открытия дроссельной заслонки, разрежение уменьшается до 0, который является атмосферным давлением.

**Мощностная нагрузка.** Это нагрузка, создаваемая в узлах двигателя давлением горящих газов.

**Мощность.** Точно говоря, мощность это результат того, как быстро сделано некоторое количество работы. В автомобильном контексте, мощность - произведение крутящего момента на определенной частоте вращения двигателя на данную частоту вращения.

**Надув.** Принудительная подача в двигатель большего количества воздуха, чем может свободно попасть в двигатель, называется наддувом.



Компрессор – устройство, которое это делает. Он может приводиться ремнем, шестеренной передачей или турбиной. Когда он приводится турбиной, он называется турбокомпрессором.

**Непоследовательная система впрыска топлива.** Система, управляющая впрыском топлива независимо от порядка работы цилиндров и положения впускного клапана, является системой непоследовательного или параллельного впрыска.

**Объем камеры сгорания.** Объем над поршнем, находящемся в верхней мертвой точке называется объемом камеры сгорания.

**Объемный КПД.** Это отношение числа молекул воздуха, которые фактически попадают в камеру сгорания к числу молекул в этом же объеме при атмосферном давлении. Для атмосферных двигателей, это отношение почти всегда меньше единицы. Двигатели с наддувом работают при соотношениях больших, чем единица.

**Окружающий.** Термин «окружающий» относится к окружающему атмосферному давлению и температуре.

**Остаточные газы.** Остаточные газы это сгорающая в последнюю очередь часть топливо-воздушной смеси. Их значение для двигателя с турбонаддувом первостепенно, потому что детонация обычно происходит в остаточных газах.

**Относительное давление.** Относительное давление определяется по шкале, на которой ноль является атмосферным давлением. Все ссылки на давление наддува в этой книге относятся к относительному давлению. Например, 0,5 бара наддува означает 0,5 бара выше атмосферного давления.

**Отношение воздух/топливо (AFR).** AFR - отношение веса воздуха к весу топлива в горючей смеси. AFR является критическим параметром для правильного функционирования двигателя.

**Под давлением наддува.** Когда система имеет во впускном коллекторе давление выше атмосферного, она работает под давлением наддува.

**Помпаж компрессора.** Помпаж компрессора происходит, когда дроссельная заслонка закрывается, и сжатый воздух остается между турбонагнетателем и дроссельной заслонкой. Образуется ударная волна, которая от дроссельной заслонки возвращается обратно к турбонагнетателю. Когда это происходит, в ресивере образуется высокое избыточное давление, так как турбонагнетатель продолжает нагнетать в него воздух. Дроссельная заслонка закрыта и воздуху некуда деваться из ресивера, возникают периодические колебания, сопровождаемые характерным звуком. Эти колебания продолжаются, пока скорость вращения турбонагнетателя не снизится и воздух не сможет пройти через компрессор обратно. Помпаж компрессора может также возникать из-за создания слишком высокого давления наддува при низком расходе воздуха. Для предотвращения этого явления применяется перепускной клапан компрессора или blow-off, клапан стравливающий избыточный воздух в атмосферу.

**Порог наддува, или точка наддува.** Это самые низкие обороты двигателя, при которых давление наддува от турбонагнетателя увеличит мощность по сравнению с атмосферным эквивалентом двигателя. Более просто, самые низкие обороты, на которых может быть достигнуто скольнибудь заметное давление наддува (обычно 0,1 - 0,15 бара).

**Последовательная система впрыска топлива.** Работу системы впрыска, рассчитанную таким образом, чтобы впрыск топлива происходил, в момент наивыгоднейшего положения впускного клапана, называют последовательной. Впрыск топлива производится в той же последовательности, в которой работают цилиндры.

**Пред-детонация.** Это бессмысленная фраза, которая не должна упоминаться ни здесь ни где-либо еще.

**Преждевременное зажигание.** Преждевременное зажигание это самовоспламенение топливо-воздушной смеси до возникновения искры зажигания.

Примечание: «звон пальцев», и «детонация» - эквивалентные термины. Преждевременное зажигание - это совершенно другая проблема. Не путайте одно с другим.

**Приемистость.** Изменение частоты вращения или момента двигателя, вызванное изменением положения дроссельной заслонки называется приемистостью. Приемистость нельзя путать с реакцией турбонагнетателя.

**Продавливание.** Этот термин говорит о том, что дроссельная заслонка находится на выходе компрессора турбонагнетателя. См. **протягивание**.

**Производитель оригинальных запчастей (OEM, Original Equipment Manufacturer).** Компания, которая изготавливала эти детали первоначально.

**Промежуточный охладитель.** Промежуточный охладитель это теплообменник, располагающийся между турбонагнетателем и двигателем, для того чтобы охладить воздух, выходящий из турбонагнетателя при работе с наддувом. Промежуточные охладители также называют охладителями наддувного воздуха или интеркулерами.

**Протягивание.** Этот термин говорит о том, что дроссельная заслонка находится на входе компрессора турбонагнетателя. См. **продавливание**.

**Рабочий объем цилиндра.** Рабочий объем цилиндра может быть определен несколькими способами; (1) объем, вытесняемый цилиндром (2) площадь сечения цилиндра, умноженная на ход поршня (3) полный рабочий объем двигателя, деленный на число цилиндров.

**Реверс выхлопных газов.** Реверс выхлопных газов происходит, когда некоторое количество выхлопных газов попадает обратно в камеру сгорания и в систему впуска во время перекрытия клапанов. Это вызвано тем, что давление в выхлопном коллекторе превышает давление на впуске или влиянием ударных волн в выхлопном коллекторе.

**Степень повышения давления.** По отношению к турбокомпрессору степень повышения давления называют отношением абсолютного давления наддува к атмосферному давлению.

**Степень сжатия.** Это объем камеры сгорания плюс объем цилиндра, разделенный на объем камеры сгорания.

**Тепловая нагрузка.** В этой книге под тепловой нагрузкой понимается довольно узкое определение теплоты, добавляемой в систему турбонагнетателем. Она образуется из теплоты, подведенной к воздуху при сжатии в турбонагнетателе и из теплоты добавленной к горючей смеси из-за реверса выхлопных газов в камеру сгорания.

**Термический КПД.** См. КПД компрессора, КПД промежуточного охладителя.

**Точка пресечения.** Это точка, в которой давление наддува равняется давлению на входе в турбину.

**Турбина.** Турбина это крыльчатка, которую приводят в действие выхлопные газы двигателя. Ее часто называют "горячей" частью турбо-нагнетателя.

**Турбонагнетатель.** Это компрессор, который приводит в действие турбина.

---

# Содержание

|   |     |
|---|-----|
| Предисловие                               | 3   |
| Введение                                  | 5   |
| Инженерный взгляд на основы               | 7   |
| Приобретение автомобиля с турбодвигателем | 23  |
| Выбор турбонагнетателя                    | 33  |
| Смазка турбонагнетателя                   | 52  |
| Промежуточное охлаждение                  | 63  |
| Впускной коллектор                        | 91  |
| Система впрыска топлива                   | 100 |
| Карбюратор                                | 117 |
| События в камере сгорания                 | 129 |
| Выхлопной коллектор                       | 136 |
| Система выпуска                           | 148 |
| Регулирование давления                    | 159 |
| Подготовка двигателя                      | 175 |
| Испытание системы                         | 187 |
| Неисправности                             | 196 |
| Будущее турбонаддува                      | 206 |
| Глоссарий                                 | 217 |