

автор
Дмитрий
(Dragster)
Дегтярёв

иллюстрации
автора

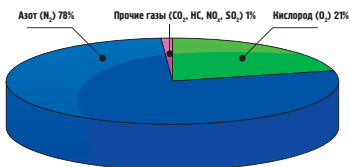
λ-ВСЕМУ ГОЛОВА...

...вот только засовывают её в места метафорически не сопоставимыми с головой. Да, довольно часто тюнеры используют так называемые лямбда-сенсоры, и даже целые комплексы на их основе. «Широкополосники» или обычные «узкополосные» сенсоры и тут и там используются в режимах, о которых их создатели и не думали. И что самое парадоксальное, вера в показания лямбда-сенсора сродни религиозной. Мне не раз доводилось вступать в полемику со сторонниками настроек, основанных исключительно на лямбдах. Забавно, то что, в ответ, мне ни разу так и не удалось услышать: «да это же святотатство!» Но все другие аргументы, были наполненными одним лишь фанатизмом. Откуда такая уверенность в этих чудо устройствах и почему, несмотря на то, что «широкополосник» уже давно прочно занял место, в своеобразном джентльменском наборе любого тюнера мы редко видим действительно качественный результат настройки. Что же для этого нужно?! Сам «широкополосник» и только?! Может быть, еще нужно знать целевое значение AFR (воздушно-топливное соотношение)?! Попробуем разобраться во всем по порядку, а уже потом принимать решения. Для начала углубимся в простую, и всем знакомую химию горения.

Часть первая. Идеал!

Не стоит сразу заводить двигатель для того, чтобы разобраться, как он работает. Начнем с некоего виртуального двигателя, который часто называют - идеальным. Безусловно, раз мы говорим об идеальном двигателе, то и сгорание в нем происходит - идеально. Что же это такое?! Безупречное горение, какое оно? Итак, что у нас должно гореть? В двигатель поступает воздух и топливо. Рассмотрим подробнее, что такое воздух и что такое топливо. А для этого немного углубимся в премудрости химии. И пускай все это кажется скучным, я постараюсь объяснить все настолько просто, насколько это вообще возможно.

Воздух состоит преимущественно

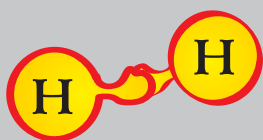


но из азота, массовая доля которого составляет 78% и кислорода, его для 21% еще 1% занимают различные газы, такие как аргон (Ar), углекислый газ (CO₂), HC, NO_x, SO₂. Учитывая их малое количество и меняющийся состав в зависимости от места, в котором этот воздух находится, будем считать, что азот занимает все 79% состава воздуха. Это несколько не точно, но полагаю, педантичные химики не будут сильно опечалены этим фактом, ведь нам нужно ра-

зобраться с основами, да еще и в определенном идеалистическом контексте.

С топливом немного сложнее, оно представляет собой сложный углеводород. Нам достаточно знать, что любой углеводород состоит из углерода (C) и водорода (H) это не очень сложно, ведь само название говорит само за себя. На топливе придется несколько задержаться. Молекула топлива содержит атомы двух видов: углерод и водород. Каждый вид атомов имеет особую характеристику способность связываться с другими атомами. Не вдаваясь в детали, представим себе, что у каждого атома есть руки, которыми он может держаться за руки других атомов образуя прочные соеди-

нения - молекулы. Самый простой атом водорода имеет одну такую «руку». Одному атому водорода, можно сказать скучно, поэтому молекула этого вещества состоит из двух атомов. Свободных «рук» у него нет. Нет ничего удивительного, что водород обозначают, как H₂. Подобным образом обстоят и дела с кислородом, с тем лишь исключением, что у атома кислорода две свободные «руки». Молекула же кислорода состоит из двух атомов. Так и обозначается O₂. У следующего активного фигуранта горения, в двигателе внутреннего сгорания, азота целых три «руки». Подобным же образом он может соединяться сам с собой, образуя молекулу азота N₂. Теперь совсем сложно - углерод. Это уже не газ!



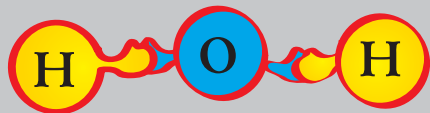
молекула водорода содержит два атома водорода (H_2)



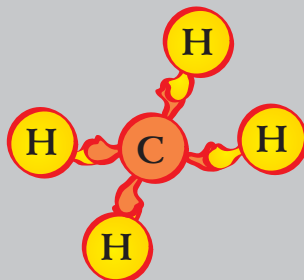
молекула кислорода содержит два атома кислорода (O_2)



молекула азота содержит два атома азота (N_2)



молекула воды (H_2O) содержит два атома водорода и один кислорода.



Простейший углеводород CH_4



молекула углекислого газа (CO_2) содержит два атома кислорода и один углерода.

И этот элемент является основой всей органической химии. Углерод имеет целых четыре «руки», но соединение с другим атомом углерода он не образует. Ему обязательно нужен другой вид атома. Но нам более интересны его соединения с водородами. Простейшее соединение - это метан. Формула метана CH_4 . Это означает что каждый углерод своей «рукой держит» по одному атому водорода. Надеюсь вам известно, что метан, является топливом и может использоваться в двигателях внутреннего сгорания. Другим видом газообразного топлива является этан, у него уже две молекулы углерода. Далее идет пропан и бутан. Все это газы. Любой углеводород, в составе которого пять и более атомов углерода являются жидкими. Таких не мало: октан C_8H_{18} , пентан C_5H_{12} , ксилен C_8H_{10} , толуол C_7H_8 , циклопентан C_5H_{10} . Нет особой необходимости запоминать все эти названия. Важно, чтобы вы понимали, что бензин это смесь из многих видов гидрокарбонатов. Разное содержание тех или иных молекул позволяют получить различные виды топлива, с разными характеристиками: устойчивость к детонации, скорости горения, и энергии горения. Я, честно говоря затрудняюсь сказать, какова же настоящая формула бензина в России. И, честно говоря, подобный вопрос вызывает у меня

откровенное уныние. Но, вспоминая тот факт, что мы рассматриваем идеальный двигатель и безупречное сгорание, будем считать, что и топливо под стать. Возьмем C_5H_{10} простейшее жидкое топливо и разберемся сколько ему нужно атомов кислорода, чтобы полностью сгореть и образовать полноценные молекулы углекислого газа и воды. А это уже представляет для нас более чем практический интерес. Когда в двигатель

единениями с углеродом и кислородом является углекислый газ, а водорода и кислорода - вода. Забегая вперед скажу прямо, финалом безупречного сгорания должен стать выхлоп в виде выброса углекислого газа и воды. И так, на наши 5 атомов углерода в составе циклопентана потребуется 10 атомов кислорода для образования углекислого газа, и 5, чтобы образовать воду. Почему я заостряю внимание на атомах кис-

кула циклопентана будет весить 70,1329. От воздуха нам потребуется пятнадцать атомов кислорода по 15,9994 единиц каждый. Ну и прицепом с этим количеством кислорода «придет» и 56 атомов азота, ведь его в составе воздуха аж 79%. И на воздух для сжигания одной молекулы циклопентана потребуется 1024,36844 единицы массы воздуха. Теперь ключевой момент, делим массу воздуха на массу топлива и получаем

Для идеального горения масса воздуха должна быть в 14,606 раз больше массы топлива.

поступает воздух и топливо, оно подвергается сжатию. Это подготавливает смесь из воздуха и топлива к горению. Далее, уже сжатую смесь поджигают используя искровую систему зажигания. Надеюсь вы не думали, что здесь рассматриваются дизельные двигатели. Горение разрушает связи между углеродом и атомами водорода. Эти атомы не любят скучать в одиночестве поэтому они «ищут» себе кислород, вступая в соединение с которым окисляются. Окисление и горение это синонимы на языке химиков. И так, простейшими и полноценными со-

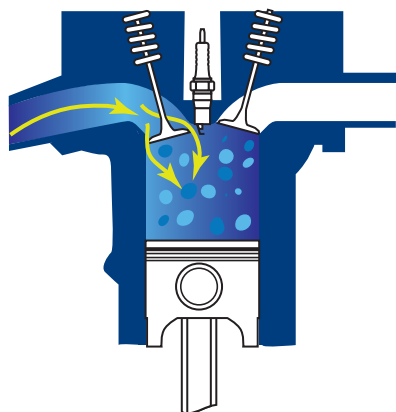
лорода из состава воздуха и обхожу стороной азот. Азота безусловно в составе воздуха больше, но рассматривать мы его не будем. Он не участвует в горении, но может его поддерживать. В общем он не очень активный участник этого процесса.

Подводим итог, и подсчитаем массу молекулы нашего топлива и необходимую массу воздуха для того, чтобы наше топливо сгорело в идеальных условиях. Топливо, пять атомов углерода по 12,0107 единиц каждый, десять атомов водорода по 1,00794 единиц каждый. Итого одна моле-

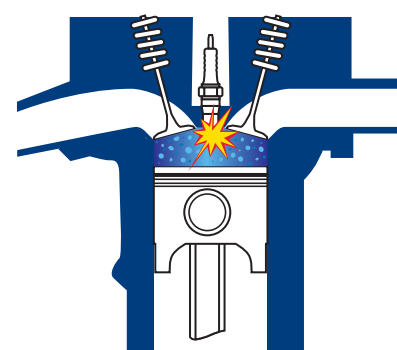
уникальную величину - соотношение, для идеального горения. Это будет 14,606. Для идеального горения масса воздуха должна быть в 14,606 больше массы топлива. С такой информацией мы могли бы править миром! Да, но только в том, который идеален.

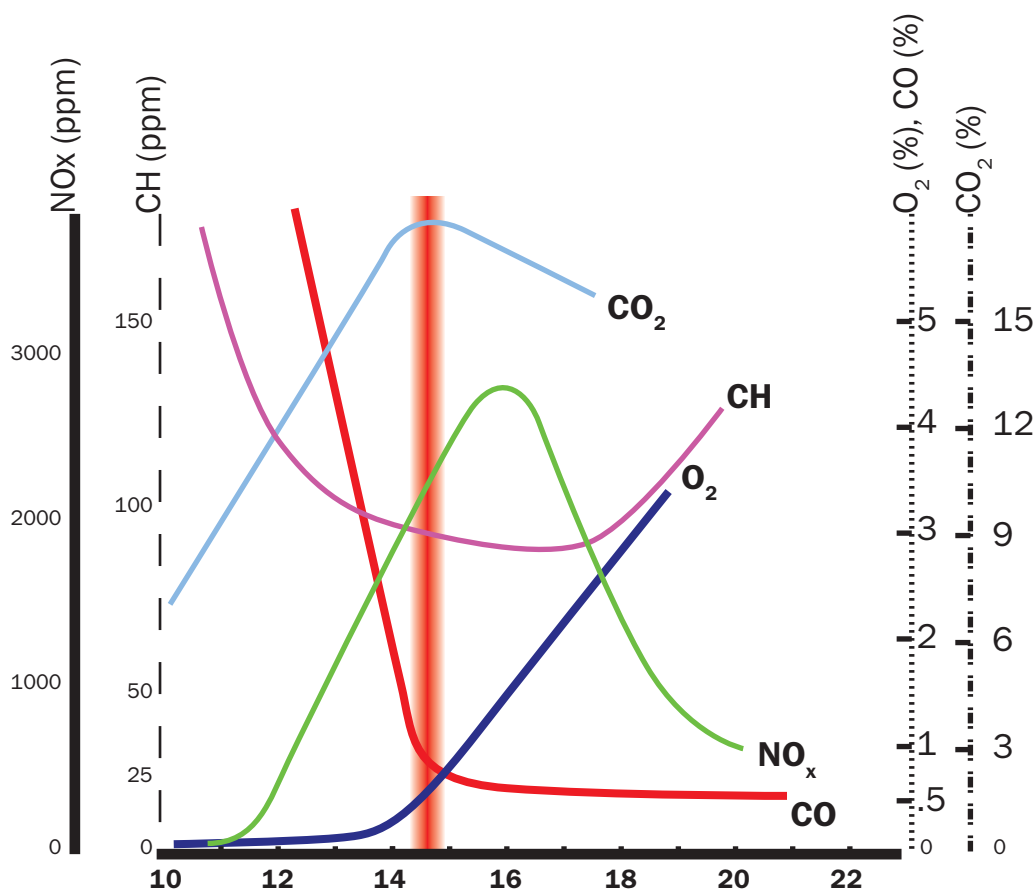
Часть вторая. Он реален и даже на вид иногда грязный.

Как всё просто с идеальными двигателями. Нужно лишь подать воздух в определенном соотношении и все дела. Сгорит все без-



AFR не что иное, как отношение массы воздуха попавшего в цилиндр двигателя в фазе впуска к массе топлива. Попавшего в тот же цилиндр, в течении того же такта впуска. Если мы говорим, что смесь 12 к одному, это означает, что масса воздуха превышает массу топлива в 12 раз. Это довольно богатое соотношение. Стехиометрическим считается соотношение близкое к 14,6. Для примера 1 кг воздуха занимает объем 760 литров (при нормальном атмосферном давлении). Как видно на рисунке справа, после завершения такта впуска, уже ничто не может изменить соотношение AFR. Оба, впускных и выпускных клапана, закрыты. И чтобы не произошло, их отношение по массе не изменится. Но есть масса факторов способных изменить показания лямбда зонда. Например произойдет пропуск зажигания. С точки зрения лямбда-зонда это будет «бедная» смесь, что на самом деле будет далеко от действительности.





На этом графике приведены зависимости содержания различных видов газов, в составе выхлопа. В зависимости от массового AFR. Из графика отчетливо видно, что только O₂ и CO можно использовать для индикации AFR. Причем для бедных смесей наиболее подходит замер O₂ или иными словами использование лямбда зонда, при этом совершенно не важно, какой вид измерения и насколько качественно это будет делать тот или иной вид лямбда-метора. Для обогащенных смесей и высоконагруженных двигателей наиболее предпочтительным будет измерение CO с помощью газоанализатора.

упречно, без вредных выбросов и т.д. В реальной жизни, сгорание в двигателе внутреннего сгорания, каким бы замечательным оно не было никогда не приводит к тому, чтобы выхлоп содержал лишь углекислый газ, воду и много азота. В действительности в выхлопе содержится еще и вредные составляющие в виде HC, CO и NOx. Более того, из-за не возможности качественно смешать топливо и воздух в выхлопе содержится некоторое количество свободного, не вступившего в реакции ни с одним из атомов углерода или водорода, кислорода. Рассматривая ранее пример мы полагаем, что весь кислород вступит в реакцию. А на практике, даже при действительном AFR близком к стехиометрическому идеалу кислород будет присутствовать в чистом виде. Обратите внимание на график содержания того или иного компонента выхлопного газа. Если вы внимательно посмотрите, то увидите, что только два газа можно использовать для индикации массы поступающих в двигатель воздуха и топлива. Это монооксид углерода (CO), и свободный кислород (O₂). Оба

этих газа не имеют запаха, и один из них весьма опасен для здоровья человека. Почему так происходит?! В действительности очень сложно получить очень равномерную смесь из жидкого топлива и газообразного воздуха. Всегда будут присутствовать некоторые области, которые можно будет назвать переобогащенными и наоборот другие обедненными. Более того, у сте-

И это неизбежно. Собственно говоря именно конструкция камеры сгорания является своеобразным мериллом, того, как качественно будет гореть смесь. Старые двигатели довольно скверно работали, именно из-за того, что конструкция камеры сгорания попросту не способствовала эффективному горению. Такие двигатели обязательно должны были работать на более богатых смесях. Наиболее

Совершенный двигатель производит меньше монооксида углерода и не вступившего в реакцию кислорода

нок камеры сгорания происходит процесс резкого охлаждения рабочей смеси, называемый «квенчингом», что приводит к тому, что связь между некоторыми атомами углерода и водорода не может разрушиться. Результат плачевен в выхлопе содержится соединение CH. Этот негативный момент обусловлен самой конструкцией двигателя внутреннего сгорания.

эффективными для горения являются шатровые и полусферические камеры сгорания.

Часть третья. Далеко от идеала – хорошо.

По остаточному содержанию кислорода в выхлопном газе можно судить о составе смеси. Именно это и делает обычный лямбда

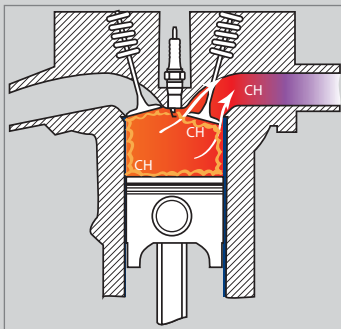
зонд. Точно тоже самое делает и не обычный. Именно это самое делает самый не обычный лямбда зонд, даже за космические деньги. Обратите внимание на график содержания газов в составе выхлопа, в зависимости от AFR. Только задумайтесь ведь, при идеальных условиях кислорода бы не было вовсе. Пожалуй в идеальном двигателе лямбда-зонд не смог бы работать. Давайте поразмышляем о том, почему образуется свободный кислород и на всех ли двигателях его количество одинаково?!

Измерение только лишь CO или кислорода имеет несколько существенных проблем. И это очевидно, всё это работает только потому, что сгорание далеко от совершенства. Ах, если бы мы могли получить на практике совершенное сгорание топлива. Это не только позволило бы получить невероятный мощный и экономичный двигатель, но и не было бы ни монооксида углерода, ни кислорода. Подумать только, нельзя было бы даже использовать банальный «узкополосный» лямбда-зонд.

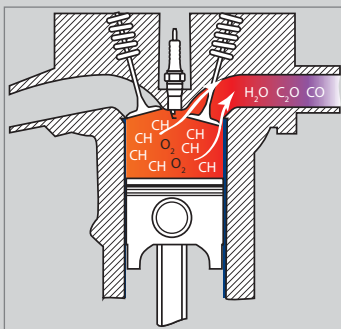
Безусловно можно смело утверждать, что не все двигатели работают одинаково. Есть те, что позволяет осуществлять процессы сгорания более качественно. Так и хочется сказать, более близкие к совершенству. Именно это же позволяет говорить, о том, что есть и откровенно удаленные от совершенства двигатели. Производительность инжекторов, конструкция камеры сгорания, диаметры впускных и выпускных клапанов, фазы газораспределения, давление впрыска топлива, время начала впрыскивания, температура внутри камеры сгорания, действительный состав бензина и его температура. Даже положение свечи зажигания, диаметр поршня и его отношение к ходу поршня, все это и еще многое другое является частью конструкции двигателя. Каждый из этих параметров и их сочетание безусловно влияет на то, как эффективно будет

происходить смесообразование в этом двигателе. И конечно-же это будет влиять на то, как эффективно будет гореть смесь.

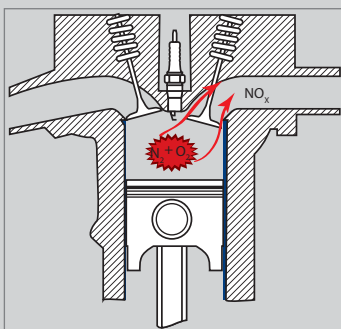
Можно смело утверждать, что наиболее приближенный к совершенству двигатель будет производить меньше монооксида углерода и кислорода, при одинаковых значениях AFR. Замечательный двигатель на котором вы буде-



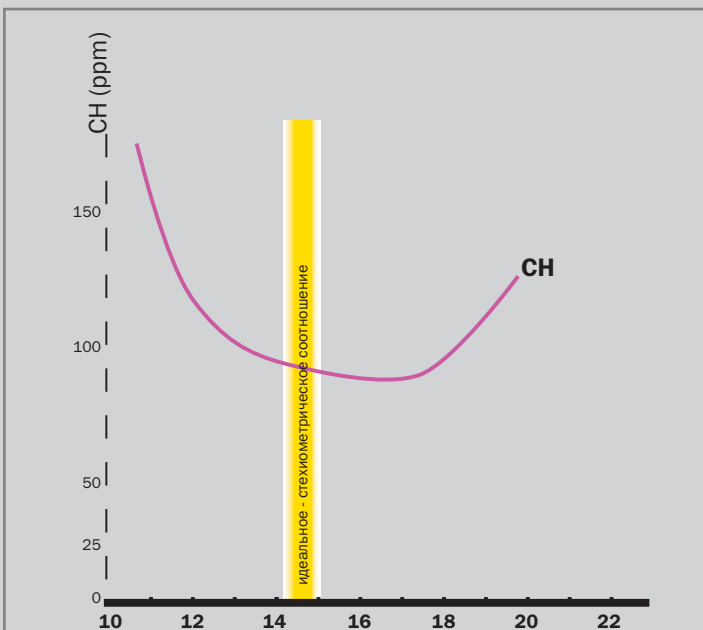
Одной из причин того, что выхлопе содержится CH , является довольно интересная вещь. Фронт пламени доходя до стенок цилиндра, поверхности клапана и т.д. резко охлаждается. Грубо говоря стенки цилиндра работают, как своеобразный огнетушитель. В результате резкого падения температуры в областях, называемых квенч-зонами связь между углеродом и водородом так не удаётся разорвать. Соответственно ни углерод, ни водород из этих не разрушенных связей не может вступить в реакцию с кислородом.



При горении сверх обогащенных смесей углеводороды не имеют доступа к достаточному количеству свободного кислорода. И не могут полноценно окислиться до углекислого газа, образуя преимущественно монооксид углерода.



Высокая температура в камере сгорания, которая характерна для работы в высоко нагруженных режимах, и высокое давление внутри цилиндра приводит к тому, что кислород и азот образует различные виды оксидов азота (NO_x).



Содержание CH среди выхлопных газов снижается по мере того, как воздушно-топливное соотношение несколько беднее идеального стехеометрического. Несмотря на это его содержание резко возрастает, когда состав смеси уходит в избыточно бедную, или обогащенную область, где весьма характерны пропуски зажигания.

те измерять монооксид углерода будет показывать вам значения худшее, чем на конструктивно худшем двигателе. Если же вы будете пользоваться лямбда-зондом на замечательном, близком к совершенству двигателе, то увидите показания «богаче», чем на далеком от идеала.

Количество свободного кислорода не зависит напрямую от массы воздуха попадающего в цилиндр на такте впуска, ровно как и массы воздуха. Это больше зависит от конструкции двигателя, и его эффективности. Исходя из этого можно смело утверждать, что любой прибор, который использует лямбда-зонд, для измерения свободного кислорода нуждается в подтверждении своих показаний. Тем более когда речь идет о использовании очень богатых соотношений.

Часть Четвертая. Что всё это значит для меня?!

Теперь, я полагаю вы усвоили, что соотношение смеси не возможно выполнить с помощью показания лямбда-зонда. Уж точно нельзя называть показания лямбда-зонда воздушно-топливным соотношением (AFR). Это не совсем соответствует действительности, либо совсем не соответствует ей. Как же быть?! Ведь в какой-то момент времени вам безо всяких сомнений казалось, что заполучив комплект, в составе которого находится «широкополосник» вы сможете самостоятельно настроить свой двигатель. Это действительно возможно! И не потребуется покупать ни дорогостоящий газоанализатор, способный анализировать 5 компонентов выхлопа, ни сверхсовременный династенд. Потребуется изменить подход к показаниям вашего сенсора. И обязательно пополнить свой комплект измерительных приборов, датчиком температуры выхлопных газов, датчиками давления топлива и наддува (если ваш двигатель оборудован компрессором).

Прежде всего следует всегда помнить, что ваш лямбда-зонд считывает количество кислорода. Будет не лишним изменить отображение AFR на коэффициент лямбды, чтобы не сбивало с толку. И производить настройку от сверхбогатой смеси к бедной. Настройку необходимо производить постепенно обедняя смесь, на небольшом уровне. Лямбда-зонд зарегистрирует изменение в виде увеличения уровня кислорода, но не стоит привязывать это к AFR. Ни к чему уменьшать подачу топлива сразу на -5 мсек открытия ин-

жекторов. Это попросту опасно. Более того, следует избегать автоматических вариантов настройки, в некое целевое значение AFR, например в 11,52:1. Тем более, если вам это значение сообщил, ваш хороший знакомый. Или хороший знакомый, вашего знакомого. Во-первых весьма сомнительно, что именно с этим числом условных AFR ваш двигатель будет работать максимально качественно. И во-вторых во время работы двигателя под нагрузкой весьма характерным будет некий разброс в показаниях лямбда-зонда. Это условно естественным снижением уровня кислорода в выхлопных газах, на подобных нагрузках и некоторыми сложностями наполнения цилиндров в режимах близких к максимальным.

Часть пятая. Как это делают «ОНИ»?

Опытные тюнеры, где-нибудь далеко-далеко, за океаном используют династенды для того, чтобы определить значение лямбда-зонда на котором достигается максимальный крутящий момент. После того, как будет достигнут максимальный крутящий момент, как правило это происходит на оборотах ниже 5000, поиск «счастливого AFR» прекращается. И настройка продолжается с целью достичь максимального уровня мощности, уже на более высоких оборотах с чуть меньшим коэффициентом лямбды. Это позволяет создать некоторый рубеж безопасности. После того, как будет отработан весь диапазон оборотов. На этом этапе не лишним будет перепроверить свою работу в нагруженном режиме с помощью газоанализатора. После такой проверки можно использовать высокие уровни наддува.

Часть шестая. Смеси бывают разными.

Конструкция двигателя всегда будет определять, каким именно будет воздушно-топливное соотношение. Так например какой-нибудь dodge 440 с большим диаметром и невероятным ходом поршня, может работать с избыточным давлением в 20 psi и AFR порядка 16:1 и это в режиме «газ в пол». Смесь в нем горит настолько медленно, что нет никакой угрозы для механической части двигателя. С другой стороны подобный подход очень просто разрушит двигатель, какого-нибудь subaru едва давление во впуске преодолет атмосферный рубеж.

... продолжение следует