

## Введение в процесс сгорания

Бензиновые двигатели внутреннего сгорания забирают воздух из атмосферы и бензин, углеводородное топливо, и через процесс горения реализуют химическую энергию, хранящуюся в топливе. 20% от общей вырабатываемой энергии тратится на движение автомобиля, и практически 80% затрачивается на трение, аэродинамическое сопротивление, привод дополнительного оборудования, или просто уходит в результате теплообмена с системой охлаждения.

Современные бензиновые двигатели стали намного эффективнее по сравнению с автомобилями конца 60-х, начала 70-х годов, когда токсичность и топливная экономичность стали первоочередными задачами автомобильных инженеров. В общем, чем больше эффективность двигателя, тем меньше токсичных компонентов из выпускной системы. В то же время, чем чище работает двигатель сегодня, тем более жесткие требования появляются. Технология, выполняющая эти жесткие требования, пришла к применению замкнутой системы управления двигателем, которая используется на автомобилях Toyota. Эти технологические нововведения вывели на качественно новый уровень технического обслуживания, и когда отказывают двигатель и система управления токсичность, диагностика и ремонт.

### Процесс сгорания

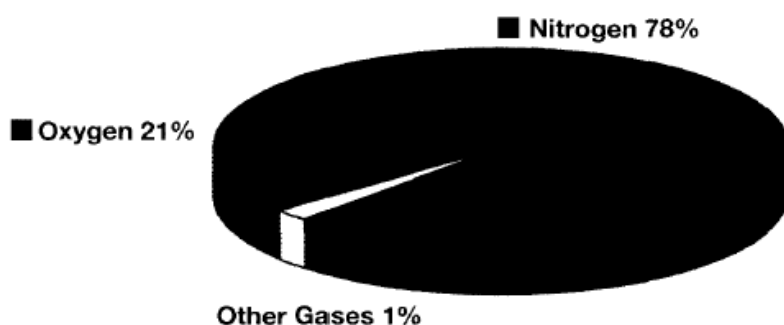
Для понимания как диагностировать и ремонтировать систему управления токсичностью, первоначально необходимо иметь базовые знания о химических процессах во время сгорания, которые имеют место в двигателе. Это является целью текущего раздела программы.

Бензин сгораемые в двигателе, состоит из множества химических компонентов, однако он состоит углеводородов (они обозначаются  $C_nH_m$ ). Углеводороды это химические соединения состоящие из атомов водорода и атомов углерода. В бензине находится огромное количество различных соединений углеводорода, зависящие от количества атомов водорода и атомов углерода в соединении, а также от типа связи между этими атомами.

Внутри двигателя топливо не горит одно, оно перемешано с воздухом. С этого начинается химия процесса сгорания. Воздух состоит на 21% из кислорода (O<sub>2</sub>), 78% азота N<sub>2</sub>, и в небольшом количестве других газов.

### **Atmospheric Make-Up**

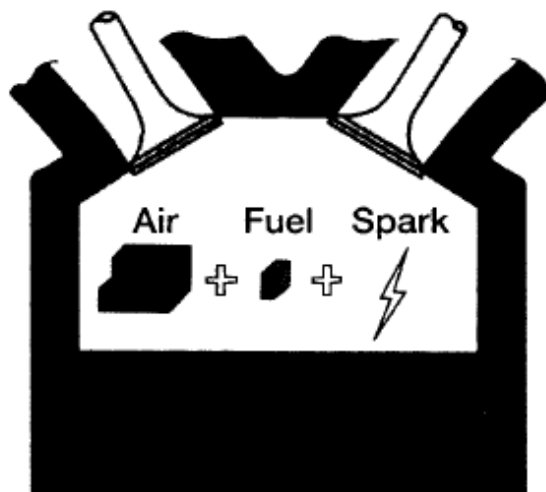
*Approximately 99% of "air" is made up of Nitrogen (N<sub>2</sub>) and Oxygen (O<sub>2</sub>). The "other gases" include Argon (Ar), CO<sub>2</sub>, HC, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, and trace amounts of other gases.*



Углеводороды топлива нормально реагируют только с кислородом во время процесса сгорания, образуя водяные пары (H<sub>2</sub>O) и диоксид углерода (CO<sub>2</sub>), в результате поднимая температуру и давление. К сожалению, при определенных условиях работы двигателя азот также вступает в реакцию с кислородом, образуя оксиды азота (NO<sub>x</sub>), загрязняющих воздух.

### **Components of Basic Combustion**

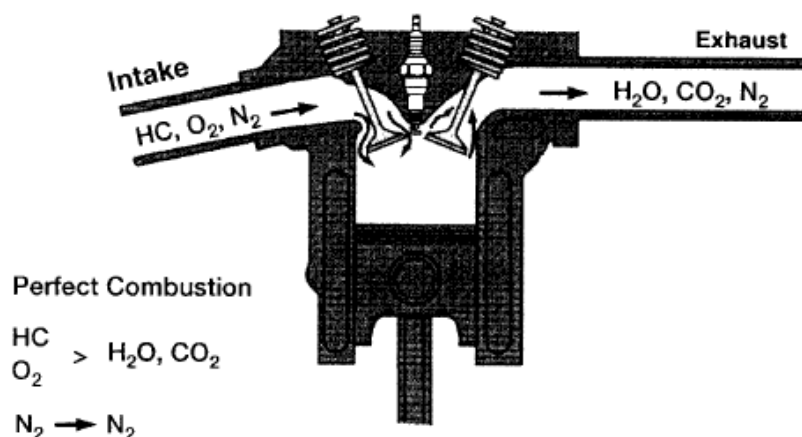
*These components, along with other very specific conditions, are needed in order for basic combustion to occur.*



Соотношение воздуха к топливу играет огромную роль в эффективности процесса сгорания. Идеальная смесь с точки зрения оптимальности выбросов, топливной экономичности и мощности двигателя около 14.7 частей воздуха к 1 части топлива. Это идеальное соотношение называют стехиометрическим, и ее поддержание является основной задачей замкнутой системы управления двигателем. На обогащенной смеси ухудшаются параметры по токсичности и топливной экономичности. На обедненной смеси ухудшаются параметры токсичности, мощности и равномерности работы.

### **"Ideal" Combustion**

If "perfect" combustion were to occur, hydrocarbons (HC) would be oxidized into water (H<sub>2</sub>O) and carbon dioxide (CO<sub>2</sub>). Also, nitrogen (N<sub>2</sub>) would pass through unaffected.



### **Работа на идеальной смеси**

На отлично работающем двигателе с идеальными параметрами горения, будут протекать следующие химические реакции:

- Углеводороды будут вступать в реакцию с кислородом, образуя водяные пары (H<sub>2</sub>O) и диоксид углерода (CO<sub>2</sub>)
- Азот (N<sub>2</sub>) будет проходить через двигатель, без какого-либо воздействия на него процессом сгорания.

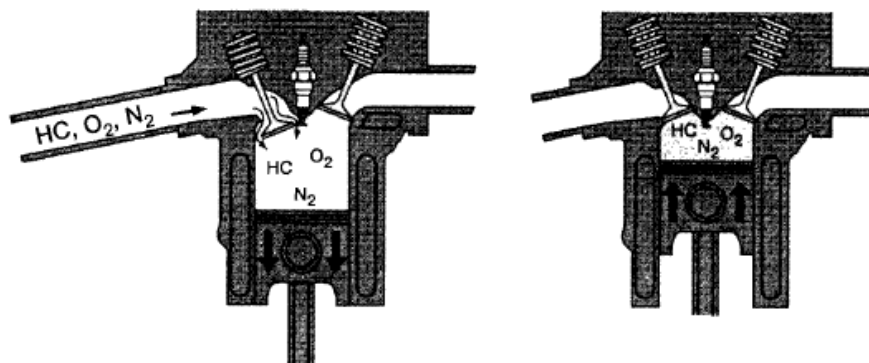
По сути, будут появляться только безвредные компоненты, и попадать в атмосферу. Конечно, современные двигатели вырабатывают меньшее количество вредных веществ, чем их предки, но все равно в действительности будет небольшое количество вредных веществ.

### **Четырехтактный процесс сгорания**

Во время такта впуска, воздух и топливо поступают в зону с меньшим давлением, создаваемое движением поршня вниз, внутрь цилиндра. Система впрыска топлива рассчитывает и подает необходимую дозу топлива, в цилиндр двигателя, для достижения соотношения 14.7 к 1, вместе с воздухом, поступающим в цилиндр. В момент, когда поршень поднимается вверх, на такте сжатия, давление начинает расти внутри цилиндра, разогревая топливовоздушную смесь. В это время, антидетонационная способность или октановое число топлива является определяющим в предотвращении самовоспламенения (взрыва). Теперь это точно определенная разогретая смесь готова к поджиганию, как только поршень достигнет ВМТ.

### **Intake and Compression Stroke**

*During intake, air and fuel is drawn into the cylinder by the downward motion of the piston. During compression, cylinder pressure is increased making the air/fuel charge prime for ignition.*

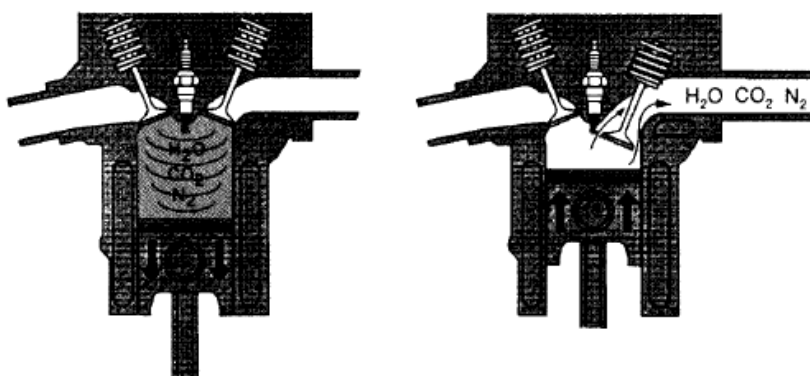


Перед тем как поршень достигнет ВМТ, для того чтобы начать такт рабочего хода, свеча зажигания воспламеняет топливоздушную смесь в камере сгорания, образуя распространяющийся фронт пламени. Во время горения, углеводороды и кислород реагируют, вырабатывая тепло и давление. В идеале, максимальное давление должно появляться через 8-12° после ВМТ, для получения максимально усилия на поверхности поршня и передачи максимальной мощности на коленчатый вал. Побочными продуктами процесса сгорания в основном будут водяные пары, и диоксид углерода, если состав смеси и зажигания идеальные.

После того как смесь сгорела, поршень достигает НМТ, выпуск отработавших газов начинает в момент открытия выпускного клапана и поршень начинает двигаться к ВМТ. Водяные пары, диоксид углерода, азот и конечно еще часть нежелательных загрязняющих газов выпускаются из цилиндра в выпускную систему.

### **Power and Exhaust Stroke**

*During power stroke, the air/fuel charge is ignited and the combustion pressure is exerted on the piston. During exhaust stroke, combustion gases are expelled into the exhaust system.*



### **Вредные отработавшие газы**

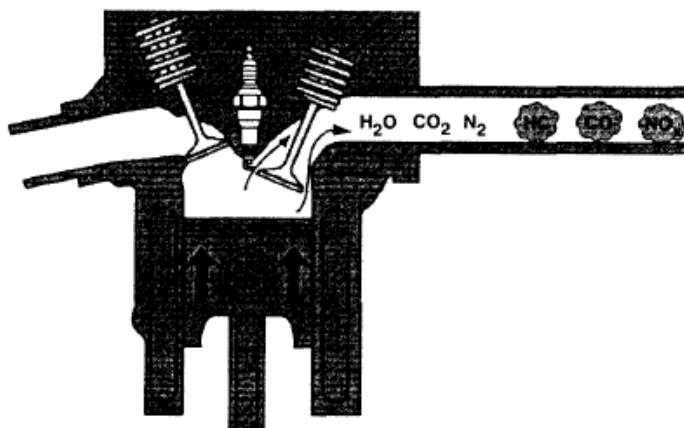
По сути, даже самые современные двигатели, технически оснащенные автомобильные двигатели не идеальны; они все еще вырабатывают небольшие количества вредных отработавших газов. Есть ряд факторов в камере сгорания,

которые не позволяют осуществлять оптимальное сгорания и являются причинами нежелательными химических реакций.

Несколько примеров вредных выбросов и причин их образования.

### **Exhaust Emissions**

*Automobile engines inherently produce some level of harmful emission output.*



### **Выбросы углеводородов**

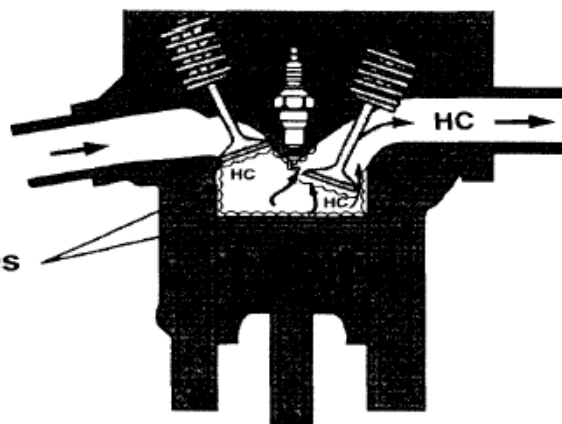
Углеводороды, по сути, это несгоревшее топливо. Когда сгорание не происходит совсем, или с пропусками воспламенения, большое количество углеводородов выбрасывается из камеры сгорания.

Небольшое количество углеводородов образуется из-за не оптимальности конструкции двигателя. Нормальный процесс приводит к охлаждению камеры сгорания, в то время как во время сгорания фронт пламени горит около относительно холодных стенок камеры сгорания. Это охлаждение гасит пламя еще до того как сгорит все топливо, оставляя небольшую часть углеводородов, которые выбрасываются через выпускные клапана.

### **“Quenching”**

*Quenching occurs when the combustion flame-front is extinguished before all the fuel is burned.*

**Quench Zones**



Еще одной причиной роста выброса углеводорода является нагар в камере сгорания. Так эти углеродные нагары пористые, углеводороды попадают в эти поры во время сжатия топливовоздушной смеси. Когда происходит сгорания это

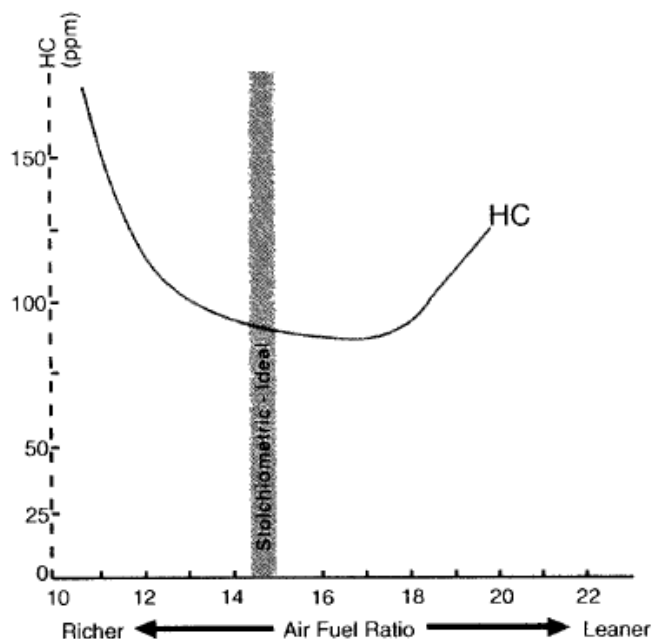
топливо не сгорает, в то же время когда поршень начинает такт выпуска, эти углеводороды выбрасываются вместе с общим потоком отработавших газов.

Наиболее вероятная причина роста углеводородов являются пропуски воспламенения из-за зажигания, подачи топлива, или проблемы с подачей воздуха. В зависимости от частоты пропусков, недостаточности искры или нестехиометричности смеси (или слишком богатая или слишком бедная) будет увеличиваться количество углеводородов. Пример, глобальные пропуски воспламенения из-за замкнутого высоковольтного провода приведут к огромному росту углеводорода. И наоборот, небольшие пропуски из-за обедненной смеси из-за неправильной подачи воздуха в двигатель, может привести к небольшому росту углеводорода.

Рост углеводорода может быть также обусловлен температурой смеси, которая поступает в камеру сгорания. Очень низкая температура смеси может привести к плохой гомогенности смеси, и как результат к частичным пропускам воспламенения.

#### **Effects of A/F Ratio on Exhaust HC**

*As shown, exhaust HC production is lowest when A/F ratio is slightly leaner than "ideal"; however, HC's increases dramatically when the mixture becomes too rich or too lean to the point of misfire.*



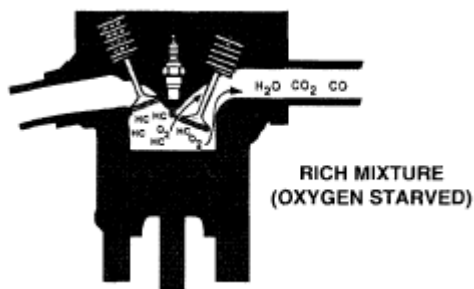
#### **Выбросы CO**

Оксид углерода это побочный продукт неполноценного сгорания и, по сути, является недогоревшим топливом. Если в смеси дефицит кислорода, то во время сгорания она полностью не сгорит. Когда горение происходит в обогащенной смеси, кислорода недостаточно для полного окисления атомов углерода до

диоксида углерода ( $\text{CO}_2$ ). Когда углерод соединяется только с одним атомом кислорода, то образуется  $\text{CO}$ .

#### Oxygen Starved Combustion

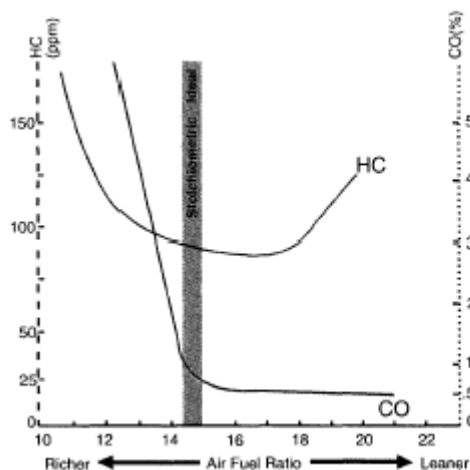
During combustion with rich A/F mixtures, the carbon from HC only partially oxidizes, resulting in carbon monoxide ( $\text{CO}$ ) rather than carbon dioxide ( $\text{CO}_2$ ).



Есть несколько режимов, когда образования обогащенной смеси является нормой. Например, во время работы двигателя на холодную, прогрев, и мощностное обогащение. Считается нормальным если на этих режимах происходит повышенное образование оксидов азота. Причинами роста  $\text{CO}$  также являются: негерметичные форсунки, повышенное давление топлива, отказ замкнутой системы управления.

#### Effects of A/F Ratio on Exhaust CO

Exhaust CO is lowest when A/F ratio is leaner than "ideal"; however, CO increases dramatically with richer mixtures.



Когда двигатель, прогретый на холостом ходу или установившихся режимах, образуется мало оксидов углерода, так как кислорода достаточно во время горения для полного окисления атомов углерода. Результатом этого является высокий уровень  $\text{CO}_2$  являющимся главным критерием эффективности сгорания.

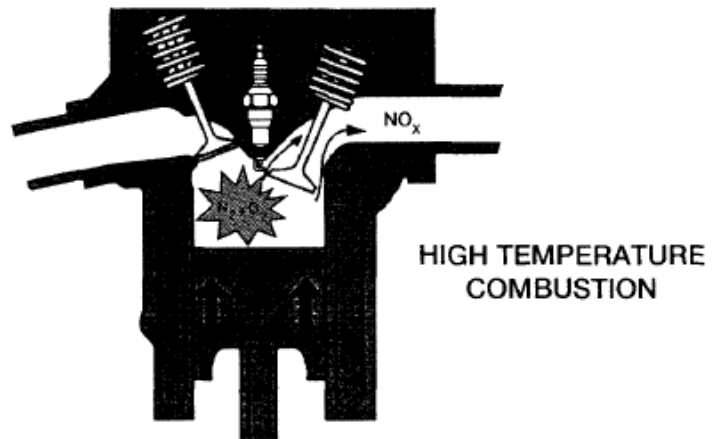
### Выбросы оксидов азота ( $\text{NO}_x$ )

Высокая температура в цилиндре и давление, которые возникают во время процесса сгорания могут стать причиной того, что азот вступит в реакцию с кислородом и образует оксиды азота ( $\text{NO}_x$ ). Конечно, есть различные формы азотосодержащих веществ, которые все вместе называются оксиды азота ( $\text{NO}_x$ ),

основным является оксид азота (NO), около 98% от всех NO<sub>x</sub> вырабатываемых двигателем.

### High Temperature Combustion

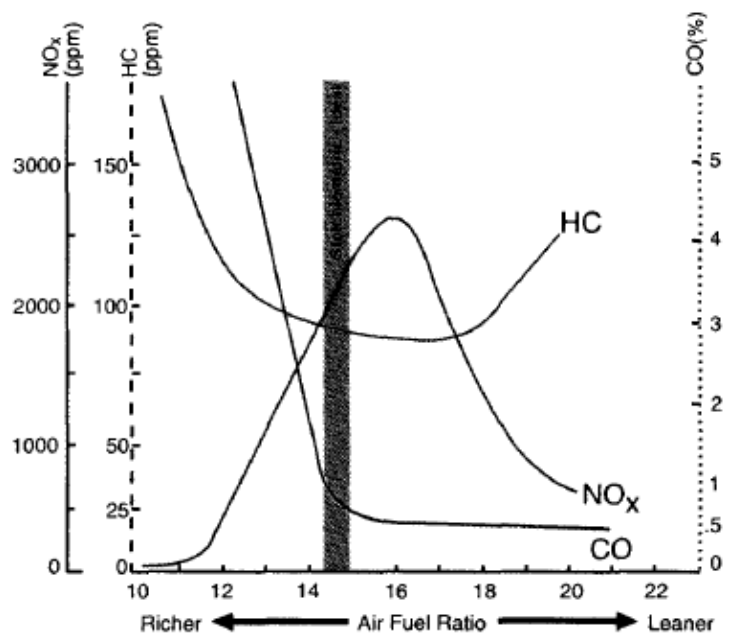
High combustion temperature (typical during heavy load conditions), causes the nitrogen to combine with oxygen to form Oxides of Nitrogen (NO<sub>x</sub>).



В основном, большая часть азота вырабатывается при работа на максимальных нагрузках, когда давление и температура процесса сгорания максимальны. В тоже время небольшое количество NO<sub>x</sub> может также вырабатываться на установившихся режимах и средней нагрузке, небольшом открытии дросселя. Основные причины роста оксидов азота: отказ системы EGR, бедная смесь, горячий впускной воздух, перегрев двигателя, увеличенный УОЗ и т.д..

### Effects of A/F Ratio on Exhaust NO<sub>x</sub>

Exhaust NO<sub>x</sub> production is highest when A/F ratio is slightly leaner than "ideal". This inverse relationship with HC and CO production poses a problem when attempting to lower all three emission levels at once.



### Влияние качественного состава смеси на отработавшие газы

Как видно из графика внизу. CO и CH низки вблизи стехиометрической смеси (14.7 - 1). Это увеличивает необходимость поддержания точного состава смеси. В тоже время количество NO<sub>x</sub> очень высоко при обедненной смеси. Такое положение CO и CH по отношению к NO<sub>x</sub>, вызывает проблемы при контроле токсичности. Из

этого соотношения Вы можете заметить сложности в понижении всех трех компонентов одновременно.

