

Параграф 1: Расчет управляющего импульса газовой форсунки.

Формула расчета управляющего времени газовой форсунки.

$$t^{Lpg} = \tau^{Lpg} + O^{Lpg}$$

$$\tau^{Lpg} = k \cdot \tau^{Pet} \cdot k^{Pet} \cdot \frac{P_0^{Lpg}}{P^{Lpg}} \cdot \sqrt{\frac{T^{Lpg}}{T_0^{Lpg}}}$$

$\tau^{pet} = t^{Pet} - O^{Pet}$, приведенное время бензина, эта величина **прямо пропорциональна** массе подаваемого топлива!

Линейная аппроксимация квадратного корня отношения температур, точность не менее единиц процентов.

$$\sqrt{\frac{T^{Lpg}}{T_0^{Lpg}}} = 1 + k_T \cdot \Delta T^{Lpg}; k_T = 0,0016, T_0^{Lpg} = 40^\circ C$$

$$\Delta T^{Lpg} = T^{Lpg} - T_0^{Lpg}$$

Расчет коэффициента коррекции приведенного бензинового времени

1. Если на автомобиле есть регулятор давления бензина в рампе (есть “обратка”)

$$k^{Pet} = 1$$

2. Если на автомобиле нет регулятора давления (нет “обратки”) и давление в рампе постоянно.

$$k^{Pet} = \frac{P^{pump} - P^{man}}{P^{pump} - P_0}$$

Обобщенная формула расчета управляющего импульса газовой форсунки (эта формула реализуется программно)

$$t^{Lpg} = (k \cdot (t^{Pet} - O^{Pet}) \cdot k^{Pet} \cdot \frac{P_0^{Lpg}}{P^{Lpg}} \cdot (1 + k_T \cdot \Delta T^{Lpg})) + O^{Lpg}$$

Расчет и физическое значение смещения (офсета)

$$O^{Lpg} = t_{open}^{Lpg} - t_{close}^{Lpg}, \text{ аналогично для бензина}$$

Использованные обозначения:

t^{Lpg}, t^{Pet} - Длительность управляющего импульса газовой (бензиновой) форсунки.

O^{Lpg}, O^{Pet} - Смещение (офсет) газовой (бензиновой) форсунки. Рассчитывается при авто калибровке (бензиновый берется постоянным и может уточняться в движении).

P^{Lpg} - Абсолютное давление газа.

P_0^{Lpg} - Опорное (калибровочное) абсолютное давление газа (в момент калибровки).

T^{Lpg} - Температура газа в градусах Кельвина.

T_0^{Lpg} - Опорная (калибровочная) температура газа в градусах Кельвина (в момент калибровки либо $40^\circ C$ если используется аппроксимация корня).

k - Коэффициент пропорциональности, характеризующий отношение расходной характеристики бензиновой форсунки по отношению к газовой форсунке (отношение статических производительностей). Величина больше 1 говорит о том, что газовая форсунка менее производительна, чем бензиновая. Нормальное значение порядка 1.6-1.8. Определяется при авто калибровке.

P^{pump} - Абсолютное давление бензина в рампе. Вводится до калибровки явно.

P^{man} - Абсолютное давление во впускном коллекторе.

P_0^{man} - Опорное (калибровочное) абсолютное давление во впускном коллекторе (в момент калибровки).

Пометки:

Во все расчетах и дополнительных поправках, в которых в качестве величины пропорциональной массе подаваемого топлива берется время подачи топлива форсункой, необходимо брать соответствующее **приведенное** время.

Это такие случаи, как перевод одновременного бензинового впрыска в попарно параллельный газовый, или расчет расхода газа (программный датчик уровня топлива в баллоне).

Параграф 2: Процесс авто калибровки.

Процесс авто калибровки проводится как и ранее некоторое время на бензине затем некоторое время на газу.

Далее все величины принимаются в следующих единицах: Давления в кПа, температура в градусах Цельсия, объем двигателя в см³, линейные размеры (диаметр, и.т.д.) в мм, время в мс.

Для авто калибровки необходимо задать следующие входные параметры.

1. Рабочий объем двигателя V^{engine} (2000см³).
2. Количество цилиндров $N^{pistons}$ (4)
3. Диаметр установленного жиклера d^{nozzle} (2мм).
4. Температура впускного воздуха T^{Air} (20 °C)

5. Указать тип впрыска автомобиля, фазированный попарно параллельный или одновременный.
6. Указать установлен ли регулятор давления бензина на автомобиле и если не установлен, то давление в рапе бензофорсунок P^{pump} (справочная информация, доступна в ремонтных документах).

До начала калибровки вычисляются следующие величины:

V^{Air} - эффективный объем воздуха в одном цилиндре с поправкой на уменьшение объема за счет объема занимаемого газом.

$$V^{Air} = \frac{V^{engine} / (N^{pistons} \cdot 1000000)}{1 + \frac{C^{MAir}}{C^{MLpg} \cdot \lambda^{Lpg}}};$$

$$C^{MLpg} = 0.5 \cdot C^{MPropane} + 0.5 \cdot C^{MButane};$$

$$C^{MAir} = 29,$$

$$C^{MPropane} = 44,$$

$$C^{MButane} = 58,$$

$$\lambda^{Lpg} = 15.5$$

C^{MLpg} - Для смеси 50% пропан 50% бутан

S^{nozzle} - Площадь жиклера.

$$S^{nozzle} = \pi \cdot \frac{\left(\frac{d^{nozzle}}{1000} \right)^2}{4}$$

C_{inj}^{Lpg} - Постоянная газового инжектора.

$$C_{inj}^{Lpg} = C^{NozzleFactor} \cdot S^{nozzle} \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{\gamma^{Lpg}}{\gamma^{Lpg} + 1} \cdot \left(\frac{2}{\gamma^{Lpg} + 1} \right)^{\frac{2}{\gamma^{Lpg} - 1}}} \cdot C^{MLpg};$$

$$C^{NozzleFactor} = 0.97,$$

$$\gamma^{Lpg} = 1.12$$

Непосредственно процесс калибровки

При работе на бензине после наступления лямбда регулирования фиксируются следующие параметры:

1. Управляющее время бензиновой форсунки t^{Pet} (3мс)
2. Давление в коллекторе соответствующее времени в п1. P_{Pet}^{man} (30кПа)

Переход на работу на газу. Предполагается, что начальное время газовой форсунки примерно подобрано так, чтобы двигатель не заглох.

При работе на газу после наступления лямбда регулирования фиксируются следующие параметры:

1. Управляющее время газовой форсунки t^{Lpg} (5.5мс)
2. Давление в коллекторе соответствующее времени в п1. P_{Lpg}^{man} (30кПа)
3. Температура газа соответствующее времени в п1 $T^{Lpg} (T_0^{Lpg}) (40^\circ C)$.
4. Абсолютное давление газа соответствующее времени в п1 P_0^{Lpg} (130кПа).

На этом процесс получения параметров можно считать окончанным, переходим к расчету.

Расчет.

Расчет приведенного времени газа τ^{Lpg} .

1. Расчет массового потока газа через жиклер в единицу времени.

$$\theta^{Lpg} = \frac{C_{inj}^{Lpg} \cdot P_0^{Lpg}}{\sqrt{R \cdot (273.15 + T^{Lpg})}}$$

2. Расчет массы воздуха в цилиндре.

$$m^{Air} = \frac{P_{Lpg}^{man} \cdot V^{Air} \cdot C^{MAir}}{R \cdot (273.15 + T^{Lpg})}$$

3. Расчет массы газа соответствующей данной массе воздуха

$$m^{Lpg} = \frac{m^{Air}}{\lambda^{Lpg}}$$

Если при вводе параметров было указано, что впрыск одновременный и опция перевода одновременного впрыска в попарно параллельный не активна, то масса газа подаваемого за один цикл работы форсунки

уменьшается вдвое. Таким образом $m^{Lpg} = \frac{m^{Lpg}}{2}$

4. Окончательный расчет приведенного времени газа

$$\tau^{Lpg} = \frac{m^{Lpg}}{\theta^{Lpg}} \cdot 1000$$

Коррекция приведенного времени газа на различие давлений во впускном коллекторе при замерах параметров на бензине и газу.

$$\tau^{Lpg} = \tau^{Lpg} \cdot \frac{P_{Lpg}^{man}}{P_{Pet}^{man}}$$

Расчет газового офсета

$$O^{Lpg} = t^{Lpg} - \tau^{Lpg}$$

Расчет бензинового офсета

Для расчета бензинового офсета необходимо знать диаметр сопла форсунки либо её производительность, ни то ни другое не является общедоступной информацией, однако опытно установлено, что $O^{Pet} = -0.4$ является достаточно точным приближением для большинства современных форсунок, поэтому примем это за истинное значение. Бензиновый офсет можно рассчитать косвенно собрав бензиновую карту в движении при необходимости. Если есть данные бензиновой форсунки, то офсет можно рассчитать по формуле аналогичной расчету газового офсета приняв во внимание то, что для бензина объем занимаемый им в цилиндре ничтожно мал и нужно использовать

полный объем воздуха равный $V_{Pet}^{Air} = V^{engine} / (N^{pistons} \cdot 1000000)$

и массовый поток бензина через форсунку равный

$$\theta^{Pet} = C^{NozzleFactor} \cdot S_{Pet}^{nozzle} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P^{Pet}}{\rho^{Pet}}}$$

$$\rho^{Pet} = 0.75$$

S_{Pet}^{nozzle} - Площадь сопла форсунки

ΔP^{Pet} - Перепад давления на форсунке

Расчет коэффициента пропорциональности

$$k = \frac{\tau^{Lpg}}{\tau^{Pet}}$$

Если одновременный впрыск и выбрана опция перевода в попарно параллельный то необходим уменьшить коэффициент вдвое.

$$k = \frac{k}{2}$$

Приведение коэффициент пропорциональности к нормальным условиям, к опорному давлению и температуре. Используется при опорных значениях давления и температуры газа отличных от значений на момент измерения (калибровки).

$$k = k \cdot \frac{P^{Lpg}}{P_0^{Lpg}} \cdot \sqrt{\frac{273.15 + T_0^{Lpg}}{273.15 + T^{Lpg}}}$$

Калибровка окончена. Теперь мы имеем все необходимые параметры для работы. Два офсета и коэффициент пропорциональности, плюс опорные значения абсолютного давления газа и температуры.