# Адаптация Датчика Кислорода для работы в составе ЭСУД ДВС на бедных топливо-воздушных смесях.

Рассадин М.Ю. Езжев А.А., к.т.н. Шелмаков П.С.

Группа компаний Итэлма



### Определения

Коэффициент избытка воздуха LAMBDA характеризует состав топливо-воздушной смеси, поступающей в цилиндры двигателя и равен отношению массы воздуха, поступившей в двигатель к массе воздуха, теоретически необходимой для полного сгорания поданного в двигатель топлива.

LAMBDA=
$$\frac{G_{\rm B}}{l_0 G_{\rm T}}$$
, где

*G*в - расход воздуха, кг/ч

*Gт*-расход топлива, кг/ч

*l*<sub>0</sub> - стехиометрическое отношение, количество воздуха необходимое для полного сгорания 1 кг. топлива.

*l*<sub>0</sub> зависит от элементарного состава топлива(массовых долей углерода, водорода и кислорода в топливе) и для бензина, например, равна 14,72 кг. воздуха/кг. топлива Если LAMBDA < 1, то топливо-воздушная смесь называется богатой, если LAMBDA>1- бедной.



Состав ОГ в зависимости от состава смеси

Эффективность нейтрализатора ОГ в зависимости от состава смеси

#### **Different Heater Control Methods**

#### Ограничения

- Габаритные размеры ДК
- Габаритные размеры корпуса
   ЭСУД
- Надежность срок службы 160000 километров
- Требования к поставщику- все ДК, поступающие на сборочный конвейер должны быть исправны
- Быстрый прогрев до рабочей температуры для возможно раннего включения регулирования топливоподачи и выполнения требований по ограничению токсичности ОГпланарная конструкция
- Достаточная для поддержания постоянной температуры чувствительного элемента мощность нагревателя



Ездовой цикл испытаний автомобиля на токсичные выбросы

## Газовый двигатель на бедной смеси.

#### Pro

- Высокое (до ОЧ=130) октановое число по сравнению с бензином.
- Высокая возможная степень сжатия-> повышение топливной экономичности.
- Высокая гомогенность топливно-воздушной смеси -> возможность работать на более бедных смесях (до LAMBDA=1,5) -> повышение топливной экономичности.
- Повышение давления наддува-> увеличение мощности-> повышение топливной экономичности
- Отказ от системы рециркуляции ОГ (EGR)-> снижение стоимости ЭСУД и двигателя.
- Применение окислительного нейтрализатора токсичных компонентов ОГ вместо окислительновосстановительного- > снижение стоимости ЭСУД и двигателя.
- Снижение температурных требований к материалам турбокомпрессора-> снижение стоимости двигателя.

#### Contra

 Для поддержания требуемого состава смеси необходимо его измерение широкополосным ДК и применение специализированных электронных компонентов в ЭСУД -> увеличение стоимости ЭСУД.

#### Измерение содержания кислорода в ОГ датчиками на двуокиси циркония.

В 1984 году компаниями Toyota и Nippondenso был предложен датчик бедной смеси (Lean Mixture Sensor), впервые установленный на Toyota Carina [2,3].



В 1991 году компанией NGK представлен широкополосный датчик кислорода, позволяющего измерять состав смеси в широких пределах, от богатой до бедной смеси [7].





Блок-схема микросхемы BOSCH CJ125 для измерения содержания кислорода в ОГ и управления широкополосным ДК

# Экспериментальное исследование свойств датчика кислорода, включенного в амперометрическом режиме.

В России на сегодня только разворачивается производство узкополосных и широкополосных датчиков кислорода для автомобильной промышленности, а производство контроллеров отсутствует. В условиях современной экономической ситуации следует рассмотреть возможность применения широко распространенных узкополосных ДК в режиме амперометрического датчика, оценить его свойства для измерения состава бедных смесей и возможность адаптации для работы в составе ЭСУД.

Для исследования были выбраны:

- 1. Датчик с атмосферной камерой справочного кислорода компании KESENS.
- 2. Датчик с накачкой справочного кислорода из ОГ компании Core Sensing+. Датчики Core дополнительно были оснащены термопарами для измерения температуры чувствительного элемента.

Оба типа датчиков имеют сходную конструкцию и геометрические размеры чувствительного элемента.





Датчик с атмосферной камерой справочного кислорода

#### Датчик с накачкой справочного кислорода

## Результаты экспериментов



Датчик с герметичной камерой (CORE)



#### Регулировочные характеристики по составу смеси при различных напряжениях накачки

Датчик с атмосферной камерой(KESENS)

• •

#### Результаты экспериментов



Зависимости тока накачки ДК с герметичной камерой (CORE) от доли кислорода в ОГ при различных напряжениях Upump



от доли кислорода в ОГ при различных напряжениях Upump

Уравнение аппроксимации

$$y=a-b\times ln(x+c)$$
 (1)

#### Значения коэффициентов аппроксимации

Upump	Coefficient	Sensor	
V	a,b,c	CORE	KESENS
Coefficient <b>a</b>			
0,2	а	929,68	1200,95
0,3	а	1459,02	1745,93
0,5	а	2536,07	2779,88
0,8	а	4595,00	4509,24
Coefficient <b>b</b>			
0,2	b	-121,59	-106,83
0,3	b	-155,15	-117,79
0,5	b	-223,46	-116,31
0,8	b	-460,83	-157,43
Coefficient <b>c</b>			
0,2	С	-0,00027	-0,00054
0,3	С	-0,00066	-0,00055
0,5	С	-0,00073	-0,00055
0,8	С	-0,00053	-0,00055

Коэффициенты *a* и *b* должны иметь размерность силы тока.

Коэффициент *С* - размерность доли кислорода.

Отсюда

1. При помещении ДК в чистый кислород x=1. Тогда рассматриваемое уравнение (1) примет вид y=a-b×ln(1+c)

С учетом полученных значений **с** и **b** и малости -**b**×**ln(1+c)** коэффициент **a** может иметь смысл **гипотетического граничного** тока при погружении датчика в кислород.

2. По аналогии с приведенными в [1] зависимостями, коэффициент **b** отражает процессы диффузии и пропорционален

$$\mathbf{b} \sim K \times \frac{4F}{R} \times D_{02} \times \frac{P}{T} \times \frac{S}{L}$$
(2)

Записанная в таком виде зависимость имеет размерность силы тока.

3. При отсутствии кислорода у=0. Тогда рассматриваемое уравнение (1) примет вид

$$0=a-b\times ln(0+c)$$

$$c = e^{a/b}$$
(3)

Однако, аппроксимация с учетом этого условия дает худшие результаты.

#### Зависимость коэффициентов a,b и c от приложенного напряжения Upump



Влияние Upump на величину коэффициента а

Влияние U<sub>ритр</sub> на величину коэффициента **b** 

Влияние U<sub>ритр</sub> на величину коэффициента с

- Приложенное напряжение оказывает заметное влияние на коэффициенты уравнения (1), определенные аппроксимацией экспериментальных данных
- Для коэффициентов b и с заметное влияние также оказывает тип камеры справочного кислорода. Для датчика с герметичной камерой справочного воздуха наблюдается значительно более высокая чувствительность к величине приложенного напряжения.

$$I_{pump} = I_0 - D \times \ln(C_{02} + \Delta C)$$
<sup>(4)</sup>

 $I_0$  – граничный ток, uA

*D*-коэффициент диффузного тока, иА

*С*<sub>02</sub> – доля кислорода в отработавших газах

Δ*С* – поправка на долю кислорода в справочной камере ДК

#### Чувствительность датчика кислорода

Из уравнения (4) следует, что чувствительность ДК, включенного по амперометрической схеме зависит от слагаемого  $-D \times \ln(C_{02} + \Delta C)$ 



Зависимость  $-D \times \ln(C_{02} + \Delta C)$  от концентрации кислорода в ОГ



Зависимость  $-b imes \ln(LAMBDA + c)$  от состава смеси LAMBDA

. .

#### Температурная чувствительность

Температурная чувствительность проверялась на нагретом на воздухе ДК при различных приложенных напряжениях Upump



Зависимость результирующего тока на воздухе *I*<sub>pump</sub> от температуры чувствительного элемента для датчика с герметичной воздушной камерой (CORE).

Воспользуемся предложенной в [3] зависимостью для коэффициента объемной диффузии  $D_{O2}$  двух компонентов  $D_{AB}$ 

$$D_{AB} = K_1 \frac{({}^{1}/_{M_A} + {}^{1}/_{M_B})}{[(\Sigma_A v_i) + (\Sigma_B v_i)]} \times \frac{T^{1,75}}{P} = K_2 \times \frac{T^{1,75}}{P}$$
(5)

- *K*<sub>1</sub>, *K*<sub>2</sub> константы
- $\sum_A v_i$  молекулярный объем компонента А
- *M*<sub>A</sub> молекулярный вес компонента А
- Т- температура
- Р-абсолютное давление
- Тогда, подставляя (5) в (2) получим:





Зависимость коэффициента диффузного тока D от температуры чувствительного элемента 13 (6)

.

#### Импульсные измерения тока



Запись импульсов тока накачки при постоянном составе смеси



Регулировочная характеристика по составу смеси при установившемся (30 сек) и импульсном (2 и 4 мс) измерениях тока при напряжении накачки, равном 0,2 и 0,5 В

#### Чувствительность к быстрому изменению состава смеси



Чувствительность к обеденению

Чувствительность к обогащению

15

. .

### Требования к адаптации ДК для измерения состава смеси в области бедных смесей

- ДК включается в амперометрическом режиме.
- Предпочтительно использование ДК с герметичной камерой справочного воздуха как несколько более чувствительного.
- Напряжение накачки не должно превышать 0,5 В.
- Измерение тока накачки должно производиться с точностью ±1,5...2 мкА.
- Температура чувствительного элемента должна поддерживаться с высокой точностью для заранее выбранного значения в диапазоне 780...800 °С.
- Поддержание температуры можно осуществлять обратной связью по собственному сопротивлению чувствительного элемента, измеряемого подачей дополнительного импульса напряжения накачки.
- Для поддержания температуры в указанном диапазоне в области низких (до 500 °С) температур ОГ требуется мощный нагреватель с собственным сопротивлением порядка 3...4 Ома при комнатной температуре.
- Чувствительность ДК, включенного в амперометрическом режиме к скачкообразному изменению состава смеси в обеднение или обогащение не хуже, чем у широкополосного ДК.

Указанным выше требованиям хорошо соответствуют аналоги датчика BOSCH LXfour

#### Дополнительные исследования

- Применение импульсного напряжения как основного в измерительной цепи тока нуждается в дополнительном исследовании.
- Для уменьшения влияния разброса характеристик ДК, образующегося в процессе производства от партии к партии необходимо разработать методику подбора подстроечного сопротивления для стабилизации характеристик тока.

Для дальнейших разработок следует создать макет измерительной системы на базе ЭСУД.

#### Литература

1. R. RAMAMOORTHY, P. K. DUTTA, S. A. AKBAR Oxygen sensors: Materials, methods, designs and applications. JOURNAL OF MATERIALS SCIENCE 38 (2003) 4271 – 4282

2. K. Mizusawa, K. Katoh, S. Hamaguchi, H. Hayashi, S. Hocho Development of Air Fuel Ratio Sensor for 1997 Model Year LEV Vehicle, SAE 970843, 1997, pp. 1362-1373

3. T. Kamo, Y. Chujo, T. Akatsuka, J. Nakano, M. Suzuki Lean Mixture Sensor SAE 850380, 1985, pp. 3177-3186

4. T. USUI, A. ASADA, M. NAKAZAWA and H. OSANAI,

J. Electrochem. Soc. 136 (1989) 534.

5. T. USUI, K. NURI, M. NAKAZAWA and H. OSANAI,

Jpn. J. Appl. Phys. 26 (1987) L2061.

6. Makoto NAKAE Tadashi TSURUTA Rentaro MORI Shinsuke INAGAKI Development of Planar Air Fuel Ratio Sensor デンソーテクニカルレビュー Vol. 7 No. 1 2002 pp. 41-49

7. T. Yamada, N. Hayakawa, Y. Kami, T. Kawai Universal Air-Fuel Ratio Heated Exhaust Gas Oxygen Sensor and Further Applications. SAE 920234, 1992, pp. 304-317

# СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!



Электронные решения . .