

## ВЫВОД

Настоящее исследование лишь уточняет общую картину протекания процесса сгорания в закрытом сосуде. Полученный объем информации из-за сложности самого процесса горения не дает возможности активного воздействия на развитие отдельных стадий процесса в желаемом направлении. Однако можно полагать, что применение скоростного фотографирования в совокупности с другими методами исследований приведет в дальнейшем к возможности управления этим сложным и весьма важным процессом – горением.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Г о р е н и е модифицированных топлив в модели камеры сгорания ДВС / М. С. Ассад [и др.] // Тепло- и массообмен: сб. науч. тр. / Институт тепло- и массообмена им. А. В. Лыкова НАН Беларуси. – Минск, 2005. – С. 100–105.
2. Л ь ю и с, Б. Горение, пламя и взрывы в газах / Б. Льюис, Г. Эльбе. – М.: Мир, 1968. – 592 с.
3. С о к о л и к, А. С. Самовоспламенение, пламя и детонация в газах / А. С. Соколик. – М.: АН СССР, 1960. – 428 с.
4. М а т е м а т и ч е с к а я теория горения и взрыва / Б. Я. Зельдович [и др.]. – М.: Наука, 1980. – 478 с.

Представлена кафедрой  
физико-математических дисциплин

Поступила 10.10.2007

УДК 543.271

## О ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ КИСЛОРОДА ТВЕРДОЭЛЕКТРОЛИТНЫМИ СЕНСОРАМИ

Канд. техн. наук, доц. НАЗАРОВ В. И., асп. МАЛАФЕЙ В. Г.

*Белорусский национальный технический университет*

Работа твердоэлектродного сенсора основана на использовании свойств высокотемпературной гальванической ячейки, обладающей кислородной проводимостью. Сенсор состоит из твердого электролита – двуокиси циркония, стабилизированного окисью итрия, находящегося между двумя металлическими электродами (платина или редкоземельные элементы), которые омываются газовыми смесями с различными парциальными давлениями кислорода. Один электрод (отрицательный) омывается эталонным газом (атмосферным воздухом), а второй электрод (положительный) – потоком дымовых газов. Помещенный в дымовые газы твердоэлектродный сенсор развивает ЭДС зависящую от температуры газов и парциального давления содержащегося в них кислорода. Кислородная проводимость сенсора сохраняется в диапазоне температур 600–1000 °С. Развиваемая сенсором ЭДС подчиняется термодинамическому уравнению Нернста,

$$E = \frac{RT}{4F} \lg \frac{C_{O_{2\text{тр}}}}{C_{O_{2\text{ан}}}}, \quad (1)$$

где  $R$  – газовая постоянная;  $T$  – температура сенсора, К;  $F$  – константа Фарадея;  $C_{O_{2\text{тр}}}$ ,  $C_{O_{2\text{ан}}}$  – процентное отношение содержания кислорода соответственно в эталонном и анализируемом газах, % об.

При использовании в расчетах эталонного газа атмосферного воздуха с концентрацией  $C_{O_{2\text{тр}}} = 20,86$  % об. ЭДС, развиваемая сенсором, рассчитывается по формуле

$$E = 0,0496T \lg \frac{20,86}{C_{O_{2\text{ан}}}}. \quad (2)$$

Для твердоэлектrolитных сенсоров имеет место существенное влияние на погрешность неравномерности температурного поля в зоне электродов сенсора. На рис. 1 приведено температурное поле твердоэлектrolитной пробырки при расходе воздуха в зону сенсора 63 л/ч.

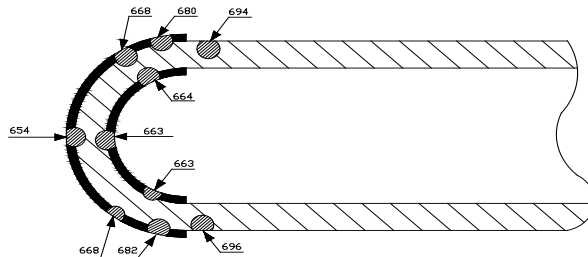


Рис. 1. Температурное поле в зоне электродов твердоэлектrolитной пробырки при расходе смеси  $G = 63$  л/ч

Такая неравномерность приводит к появлению паразитной ЭДС асимметрии. В большей части ЭДС асимметрии вызывается изменяющейся скоростью подвода газовой смеси в зону сенсора, т. е. величиной объемного расхода.

В табл. 1 приведены экспериментальные данные по зависимости ЭДС асимметрии от объемного расхода газовой смеси, подаваемой в зону сенсора.

Данные были получены для воздуха при температуре в зоне сенсора 973 К.

Таблица 1

$G$ , л/ч	10,6	17,4	24	31	38	44,6	70
$\Delta E_{\text{ас}}$ , мВ	3,8	3,8	3,9	4,4	4,6	4,8	6,1

При расходах газовой смеси больше 24–26 л/ч наблюдали устойчивый рост  $\Delta E_{\text{ас}}$ . При расходах газовой смеси до 20–24 л/ч, что обеспечивается естественной конвекцией, ЭДС асимметрии имеет стабильное значение и как систематическая погрешность может учитываться при измерении объемной концентрации кислорода в смеси (рис. 2).

Что же касается точности стабилизации температуры в зоне сенсора, то здесь наблюдается относительно несущественное ее влияние на погрешность измерения.

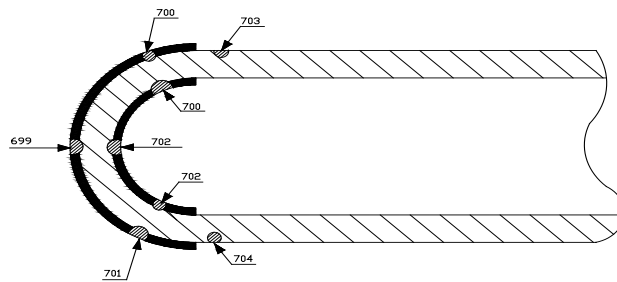


Рис. 2. Температурное поле в зоне электродов твердоэлектролитной пробирки при расходе смеси  $G = 17,4$  л/ч

Экспериментально были определены поправки к абсолютной погрешности измерения концентрации кислорода на один градус изменения температуры в зоне сенсора при различных концентрациях газовых смесей, подаваемых в зону сенсора. Результаты эксперимента приведены на рис. 3.

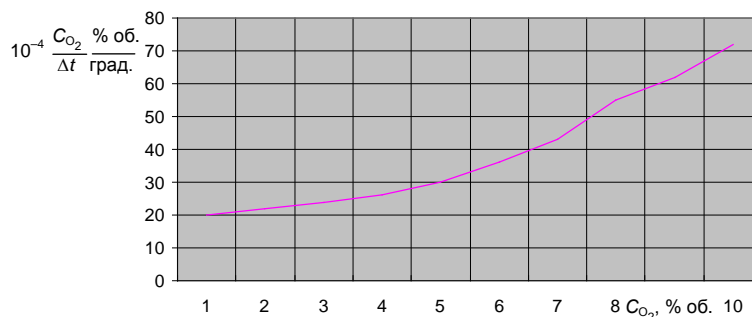


Рис. 3. Поправка к абсолютной погрешности измерения  $O_2$  на один градус изменения температуры в зоне сенсора

Исходя из полученных данных, следует, что высокая точность измерения температур в зоне сенсора целесообразна при измерении малых концентраций кислорода в смеси менее 0,05–0,1 % об.

Измерение очень малых концентраций кислорода (менее 0,05 % об.) сопровождается высокой кислородной проницаемостью твердого электролита из-за большой разницы парциальных давлений  $O_2$  в газовой смеси и воздухе, который обычно используется как эталонный газ.

Здесь погрешность измерений может достигнуть существенных значений. На рис. 4 приведена экспериментальная зависимость относительной диффузионной погрешности от концентрации кислорода в газовой смеси.

В ходе эксперимента газовые смеси с концентрациями 0,049; 0,032; 0,011 % об. подавались в зону сенсора с постоянным расходом, равным 20 л/ч. Температура в зоне сенсора поддерживалась  $700 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Расчетная зависимость относительной диффузионной погрешности будет иметь вид

$$\frac{\Delta C_{O_2}}{C_{O_2}} = a e^{-b C_{O_2}}, \quad (3)$$

где  $a$  и  $b$  – коэффициенты, зависящие от состава твердоэлектролитной ячейки (для  $Zr_2O_3$   $a = 15$ ;  $b = 63$ ).

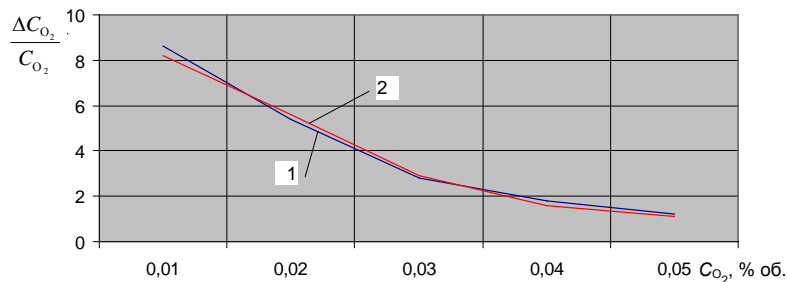


Рис. 4. Зависимости относительной диффузионной погрешности от концентрации кислорода в газовой смеси: 1 – экспериментальная; 2 – расчетная

При применении в твердоэлектrolитной ячейке в качестве эталонного газа воздуха необходимо иметь в виду, что использование твердоэлектrolитного газоанализатора в загазованных помещениях приведет к появлению дополнительной погрешности

$$\frac{\Delta C_{O_2}}{\Delta C_{O_{2\text{возд}}}} = 10^{-\frac{E}{48,261}}, \quad (4)$$

где  $\Delta C_{O_2}$  – абсолютная погрешность измерения концентрации кислорода в газовой смеси, вызванная отклонением концентрации кислорода в воздухе, % об.;  $\Delta C_{O_{2\text{возд}}}$  – абсолютное отклонение концентрации кислорода в воздухе, % об.;  $E$  – ЭДС, развиваемая сенсором.

На рис. 5 приведена экспериментальная зависимость относительной погрешности измерения  $O_2$  в газовой смеси от концентрации кислорода в газовой смеси. В ходе эксперимента воздух был заменен газовой смесью с концентрацией  $O_2 = 20,1$  % об., которая подавалась внутри твердоэлектrolитной пробирки с расходом, равным 10 л/ч.

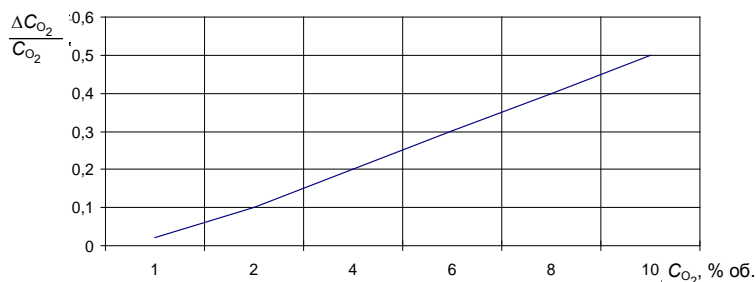


Рис. 5. Зависимость относительной погрешности измерения кислорода в газовой смеси от концентрации кислорода в газовой смеси

## ВЫВОД

Приведены дополнительные погрешности при измерении кислорода твердоэлектrolитной ячейкой, вызванные изменением: температуры в зоне сенсора, расхода газовой смеси подаваемой в зону сенсора, парциального напора и колебаний концентраций кислорода в воздухе.

Представлена кафедрой ТЭС

Поступила 10.10.2007