

# ИКТС-11 — быстродействующий, надежный газоанализатор кислорода в дымовых газах

**В.А. Сорокин**

кандидат физ. мат. наук<sup>1</sup>,  
заместитель генерального директора<sup>2</sup>  
info@ecomer.ru

**Ю.Е. Лапаев**

главный инженер проектов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт автоматизации и электрометрии СО РАН,  
Бердск, Россия

<sup>2</sup>ЗАО «Проманалитприбор», Бердск, Россия

**Современные технологии сжигания топлива предполагают непрерывный контроль состава продуктов горения. Одним из важнейших параметров газового состава является остаточный кислород. Измерение концентрации кислорода с высокой точностью, достоверностью и быстродействием — залог корректной работы системы регулирования смесеобразования топливо-воздух, благодаря чему достигается эффект экономии топлива и снижения выбросов вредных веществ в атмосферу. Достаточно высокую точность измерения концентрации кислорода обеспечивают сенсоры с большой крутизной отклика на изменение концентрации  $O_2$ . В данной работе кратко описываются характеристики одного из таких датчиков, который используется в газоанализаторе ИКТС-11.**

## Материалы и методы

Статистическое исследование влияния концентраций основных компонентов дымовых газов на показания датчика  $O_2$  в составе газоанализатора ИКТС-11.

## Ключевые слова

газоанализатор кислорода в дымовых газах котлов, печи, ГТУ и других топливо-сжигающих установок, измерение кислорода в отходящих газах

Достаточно высокую точность измерения концентрации кислорода обеспечивают сенсоры с большой крутизной отклика на изменение концентрации  $O_2$ . Среди них — электрохимические сенсоры на основе жидких электролитов, электрохимические сенсоры на твердых электролитах, парамагнитные и другие типы сенсоров. Обеспечение хорошего быстродействия измерительного комплекса предполагает отказ от систем пробоотбора и помещению чувствительного элемента сенсора непосредственно в зону измерений. Это требование сразу же сужает выбор и практически единственным решением оказывается применение сенсоров на основе твердых электролитов — циркониевой керамики ( $ZrO_2$ ) или иттриевой керамики ( $Y_2O_3$ ). Эти сенсоры работают при высоких температурах —  $650 \div 750^\circ C$  и могут использоваться непосредственно вблизи зоны горения топлива. Достоверность измерений концентрации кислорода должна обеспечиваться или селективностью сенсора или стабильностью определенных параметров газовой смеси, а также долговременной стабильностью параметров электролита.

Для целей непрерывного контроля концентрации кислорода в продуктах сжигания топлива с большей достоверностью измерений в ЗАО «Проманалитприбор» разработан измеритель кислорода ИКТС-11 на основе широкодиапазонного сенсора из циркониевой керамики. ИКТС-11 имеет успешный опыт эксплуатации на ТЭЦ, ГРЭС, НПЗ, ТСУ и ГТУ использующихся в том числе на газо и нефтепроводах.

Датчиком кислорода в ИКТС-11 служит широкодиапазонный сенсор, имеющий дополнительную диффузионную камеру, в которой поддерживается концентрация кислорода близкая к нулевой. Присутствие кислорода на измерительной поверхности сенсора приводит к возникновению потока ионов кислорода, за счет чего формируется ток накачки, измеряемый электронной схемой, такой способ регистрации делает отклик сенсора линейным. На (рис. 1.) приведен график отклика широкодиапазонного сенсора на изменение концентрации кислорода.

Поскольку передаточная характеристика

сенсора практически линейна, то явления связанные с его отравлением и изменением химического состава твердого электролита оказались существенно подавлены. Влияние газов-восстановителей (фрагментов несгоревшего топлива) также оказалось более контролируемо. На рис. 2 приведены графики крутизны —  $dI_p(pCO^{exh})/dn$  отклика широкодиапазонного сенсора на присутствие в смеси CO. В сравнении с откликом на кислород —  $dI_p(pO_2^{exh})/dn$ , воздействие CO имеет противоположный знак. Порядок величин  $dI_p(pCO^{exh})/dn$  и  $dI_p(pO_2^{exh})/dn$  сравним друг с другом.

Действие несгоревших фрагментов топлива на результат измерений — занижение измеренной концентрации кислорода на величину от трети до половины от концентрации CO. Таким образом, широкодиапазонный сенсор кислорода реагирует на соотношение между кислородом и топливом в продуктах горения и может применяться для определения химического недожога. При не очень больших концентрациях CO измерения концентраций кислорода более достоверны. На рис. 3 приведены графики изменения сигнала сенсора ИКТС-11 при изменении концентрации CO в газовой смеси.

Технические характеристики измерителя ИКТС-11 созданного на основе широкодиапазонного сенсора на  $ZrO_2$ :

- Диапазон измеряемых концентраций кислорода —  $0 \div 21\%$  об.
- Погрешность измерений:  $\pm 0,12\%$  (абсолютная для диапазона  $0 \div 5\%$ )  $\pm 2,5\%$  (относительная для диапазона  $5 \div 21\%$  об.).
- Разрешающая способность (по представлению данных на экране дисплея) —  $0,01\%$  об.
- Разрешающая способность (по внутреннему представлению данных)  $< 0,001\%$  об.
- Время установления выходного сигнала —  $T_{90} < 10$  сек.
- Скорость потока газа в газоходе —  $2 \div 15$  м/сек (при пассивном отборе пробы). Для меньших скоростей потока газа предусмотрен принудительный отбор пробы.
- Измерительный блок монтируется в шкафу RITTAL со степенью защиты IP 54
- Преобразование сигнала кислородного сенсора в размерную величину концентрации

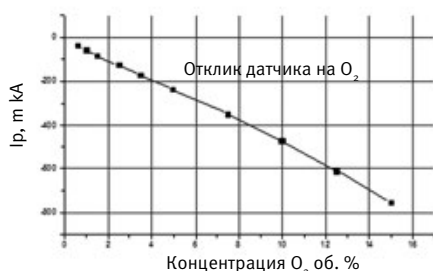


Рис. 1 — Отклик широкодиапазонного сенсора на изменение концентрации кислорода. Сдвиг нуля в  $I_p$  введен искусственно для лучшей работы измерительной схемы с однополярным питанием

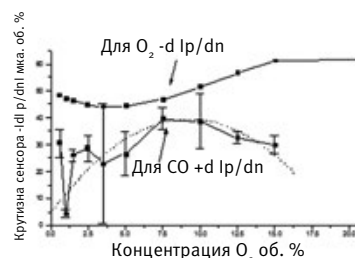


Рис. 2 — Крутизна широкодиапазонного сенсора по отношению к  $O_2$  и CO

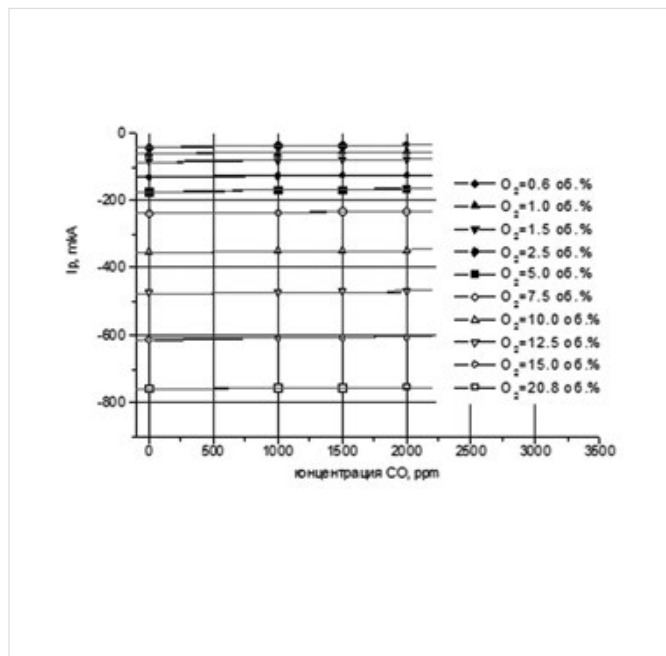


Рис. 3 — Сигналы сенсора при изменении концентрации CO

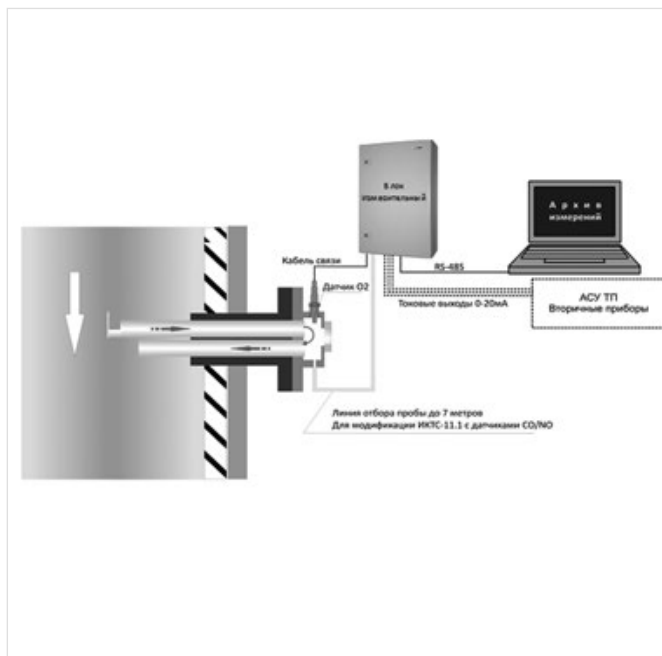


Рис. 4 — Структурная схема газоанализатора ИКТС-11

кислорода в газовой пробе осуществляется измерительной схемой с 16-ти разрядным АЦП под управлением микропроцессора ATmega128.

- Результат обработки сигнала сенсора отображается на дисплее, может быть считан во внешний компьютер по линии связи RS-485, а также посылается в аналоговый гальванически изолированный токовый порт 4–20 мА (0–5 мА).
- Контроллер способен обнаружить отсутствие или неисправность сенсора и оповестить об этом.  
Кислородомер ИКТС-11 комплектуется

зондами различных конструкций в зависимости от условий эксплуатации. На (рис 4) изображен один из вариантов установки кислородомера на газоход без побудителя расхода. По желанию клиента газоанализатор кислорода ИКТС-11 может комплектоваться датчиками на CO и NO, а так же может быть выполнен во взрывозащищенном исполнении 1ExdIICT3.

#### Итоги

Широкодиапазонный сенсор с дополнительной диффузионной камерой, в которой поддерживается концентрация кислорода

близкая к нулевой, имеет высокую точность и быстродействие и не требует подачи сравнительного газа (атмосферного воздуха) в процессе эксплуатации.

#### Выводы

Газоанализатор ИКТС-11 благодаря применению описанного сенсора прост в работе, т.к. не требует линий подачи сравнительного газа и специальной пробоподготовки, может помещаться в измеряемую среду, как следствие он имеет минимальное транспортное запаздывание, что положительным образом сказывается на его быстродействии.

ENGLISH

MEASURING EQUIPMENT

## ICTS-11 — a fast, reliable analyzer of oxygen in the flue gases

UDC 681.2

#### Authors:

**Vladimir A. Sorokin** — candidate of physics and mathematics science<sup>1</sup>, deputy general director<sup>2</sup>; [info@ecomer.ru](mailto:info@ecomer.ru)  
**Yury E. Lapaev** — chief engineer projects<sup>2</sup>;

<sup>1</sup>Institute of Automation and Electrometry, Berdsk, Russian Federation

<sup>2</sup>Promanalitpribor JSC, Berdsk, Russian Federation

#### Abstract

Modern combustion technologies require continuous monitoring of combustion products. One of the most important parameters of the gas composition of a residual oxygen. Measurement of the concentration of oxygen with high accuracy, reliability and speed — the key to proper operation of the system of regulation of fuel-air mixture formation, thus achieving the effect of fuel economy and lower emissions of harmful substances into the atmosphere. Sufficiently high accuracy measurement of oxygen concentration sensors provide a very steep response to changes in the

concentration of O<sub>2</sub>. This paper briefly describes the characteristics of one such sensor, which is used in the gas analyzer ICTS-11.

#### Materials and methods

Statistical study of the effects of the concentrations of the main components of flue gas O<sub>2</sub> sensor readings in the gas analyzer ICTS-11.

#### Results

Wide sensor with additional diffusion chamber in which the oxygen concentration is maintained close to zero, has high accuracy and speed and does not require a

reference gas flow (air) during operation

#### Conclusions

ICTS-11 gas analyzer by the use of the described sensor is simple to operate, unnecessarily requires a reference gas supply lines and special sample preparation, can be placed in the measuring medium, as a result, he has a minimum transport delay, which has a positive effect on its speed.

#### Keywords

oxygen analyzer in the flue gases of boilers, furnaces, gas turbines and other fuel-fired plants, the measurement of oxygen in the exhaust gases