

## Анализаторы дымовых газов Thermo WDG

### Введение

Анализ компонентного состава дымовых газов широко используется для контроля и регулирования эффективности процессов горения в различных печах, парогенераторах, а также котлах коммунальных и промышленных предприятий.

На практике наиболее важными признаны два параметра: концентрация кислорода (прямой показатель потерь вследствие избыточности воздуха) и концентрация несгоревших горючих компонентов (как правило, водород и окись углерода), позволяющая судить о потерях из-за неполноты сгорания.

### Ячейки из оксида циркония для измерения концентрации кислорода

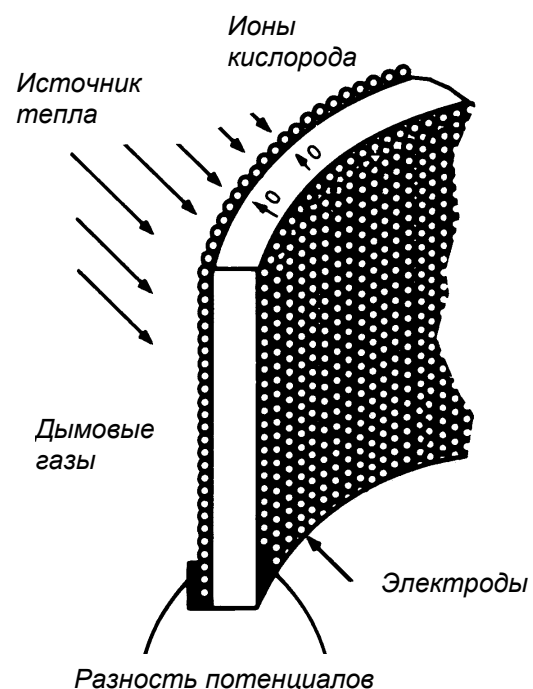
Наибольшее распространение для непрерывного измерения кислорода в газах получили ячейки на основе оксида циркония. Они были разработаны в середине 60-х годов в соответствии с Космической программой США и очень скоро стали широко применяться в промышленности из-за способности измерять кислород в горячих загрязненных и увлажненных газах без подготовки пробы.

В основу принципа действия ячейки положена способность оксида циркония при нагреве работать как "твердый электролит". Чувствительный элемент ячейки представляет собой пробырку или диск, изготовленные из оксида циркония, стабилизированного оксидом иттрия или кальция, внутренняя и наружная поверхность которого имеет пористое платиновое покрытие, служащее в качестве электродов.

Кристаллическая решетка оксида циркония содержит вакантные узлы, по размеру соответствующие атомам кислорода. При высокой температуре (650...750°C) молекулы кислорода, взаимодействуя с платиновыми электродами, диссоциируют, отбирая четыре электрона и превращаясь в ионы кислорода. Эти ионы обладают высокой подвижностью и способны легко перемещаться между вакансиями и диффундировать между внешней и внутренней поверхностью ячейки.

Если парциальные давления кислорода по обе стороны ячейки одинаковы, направленный поток ионов кислорода отсутствует. В противном случае возникает поток ионов кислорода через решетку  $ZrO_2$ , создающий разность потенциалов (напряжение) между электродами.

Величина этого напряжения является функцией отношения парциальных давлений по обе стороны ячейки. Если значение парциального давления одного из газов известно (в качестве такового выбирается, как правило, воздух), разность потенциалов характеризует содержание кислорода во втором газе.



Напряжение в ячейке зависит от температуры, поэтому она поддерживается постоянной специальной системой нагрева и регулирования.

Калибровка анализатора задается из условий уравнения Нернста:

$$E = RT/4F \cdot \ln [O1]/[O2]$$

где  $R$  и  $F$  - константы,  $T$  - абсолютная температура,  $[O1]$  и  $[O2]$  - парциальные давления кислорода по разные стороны ячейки. Если сравнительным газом является воздух, а температура ячейки равна 735°C формула приобретает следующий вид:

$$E = 0,05 \cdot \log 0,209/[O2]$$

Если по обе стороны ячейки находится воздух, напряжение в ней равно нулю и начинает увеличиваться с понижением концентрации кислорода в пробе.

## Преимущества ячейки из оксида циркония

Ячейки на основе оксида циркония имеют ряд значительных преимуществ по сравнению с другими методами измерения кислорода:

- ◆ Ячейку можно разместить непосредственно в потоке дымовых газов, что повышает чувствительность и уменьшает время отклика.
- ◆ Ячейка рассчитана на анализ влажных газов, так как работает при высокой температуре, превышающей значение температуры точки росы дымовых газов.
- ◆ Нет необходимости в предварительной подготовке пробы для анализа (охлаждение, осушка и очистка).
- ◆ Ячейка не подвержена воздействию вибрации.
- ◆ Выходной сигнал ячейки возрастает при уменьшении концентрации кислорода в анализируемом газе.
- ◆ Срок хранения запасной ячейки практически не ограничен.

## Варианты исполнения анализаторов

Ячейки на основе оксида циркония используются в нескольких моделях анализаторов типа **Thermox WDG**. Конструктивно эти модели различаются расположением ячейки и способом подачи пробы к ячейке.

**WDG-Insitu** - анализаторы зондового типа; ячейка расположена в зонде, устанавливаемом непосредственно в технологическом потоке.

**WDG-HP11** - анализаторы для сильно загрязненных газов; ячейка размещена в полевом блоке, устанавливаемом снаружи на стенке технологического объекта, а зонд проходит через стенку в анализируемый газ. Проба подается из зонда к ячейке за счет конвекции, вызванной разностью температур в тракте полевого блока.

**WDG-IV** - анализаторы с быстрым откликом; ячейка размещена в полевом блоке, аналогичном WDG-HP11. Проба подается из зонда к полевому блоку принудительно с помощью воздушного эжектора, а к ячейке - только за счет конвекции.

## Анализаторы зондового типа WDG-Insitu



В анализаторе **WDG-Insitu** (Insitu буквально означает "по месту") ячейка на основе оксида циркония находится непосредственно в потоке продуктов горения. Вместе с нагревателем и термопарой она располагается на конце зонда, который установлен в технологическом потоке.

Газ диффундирует в отверстие зонда и контактирует с поверхностью ячейки. Выходной сигнал ячейки передается по кабелю к контроллеру. Там он преобразуется в показания концентрации кислорода, в аналоговый выходной и релейные сигналы, используемые для автоматического управления, регистрации и сигнализации. Контроллер также регулирует температуру ячейки с помощью нагревателя и термопары.

Погружная часть зонда изготовлена из сплава RA330, обладающего высокой коррозионной стойкостью. Стандартный зонд рассчитан на максимальную температуру газов до 677°C. В высокотемпературной модели WDG-HT1 нагрев ячейки осуществляется самим измеряемым газом, а зонд из карборунда рассчитан на максимальную температуру газов до 1600°C.

Анализаторы зондового типа **WDG-Insitu** по сравнению с другими, используемыми по месту зондами, имеют следующие преимущества:

- ◆ Ячейка имеет значительно большую активную поверхность (на 300%), что обеспечивает высокую точность измерения.
- ◆ Возможно использование дополнительных устройств, устанавливаемых в зонд, таких как фильтр и отражатель для анализа загрязненных газов, пламегаситель, который необходим как дополнение к защитной сетке, если существует опасность образования воспламеняющейся смеси кислорода и горючих газов.
- ◆ Замена узла ячейки, нагревателя и термопары возможна без демонтажа зонда и отсоединения установочного фланца или кабеля.
- ◆ Техническое обслуживание облегчено благодаря функциям самодиагностики и сообщениям о сбоях с помощью кодов.

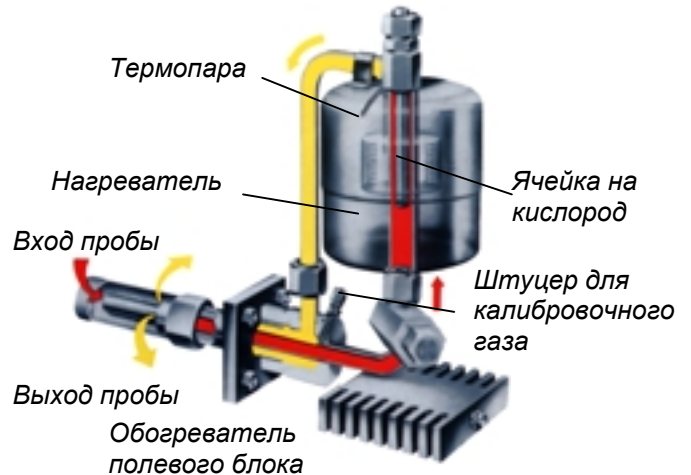
## Анализаторы WDG-HPII для сильно загрязненных газов

Анализаторы **WDG-HPII** предназначены для **загрязненных** влажных газов. В этих анализаторах ячейка с нагревателем и термопарой размещена в полевом блоке, который устанавливается снаружи на стенке технологического объекта, а зонд проходит через стенку. Так как ячейка расположена вне технологического потока, для подачи пробы в ячейку используется явление конвекции.

Проба, нагретая до 695°C в вертикальном канале ячейки, поднимается и замещается газом, который поступает через фильтр зонда. Выходящий из ячейки газ охлаждается и возвращается в фильтр при температуре 250°C. Конвекция, вызванная этой разностью температур, заставляет газ циркулировать в контуре.

Конвективный поток внутри контура настолько мал, что газ из технологического потока замещает газ внутри фильтра только за счет диффузии. Это препятствует засорению фильтра.

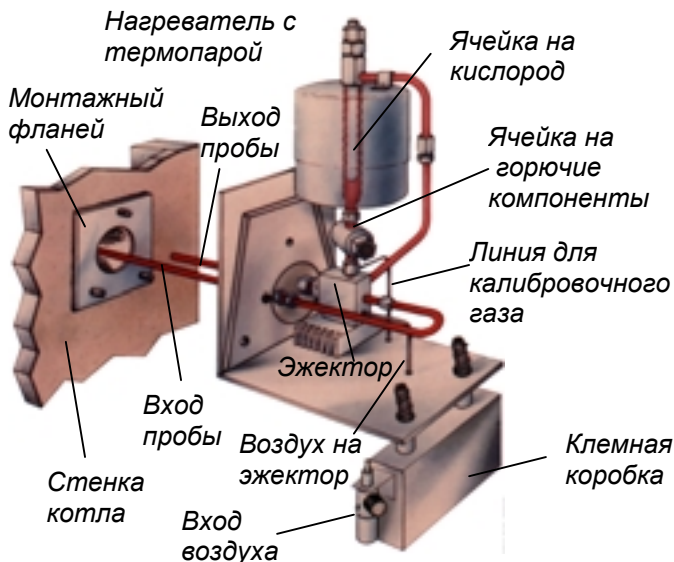
Конвективный способ подачи пробы в ячейку делает анализатор уникальным для таких загрязненных приложений, как угольные и цементные печи, печи дожигания мусоросжигающих установок, котлы-утилизаторы и пр.



За счет нагревателя ячейки и дополнительного нагревателя зонда температура газа в зонде и тракте полевого блока всегда выше температуры точки росы пробы. Это очень важно при анализе влажных газов.

Максимальная температура погружной части зонда зависит от материала: 704°C (нержавеющая сталь 316SS), 1024°C (сплав RA330), 1530°C (керамика). Максимальная длина зонда 122 см. Все рабочие части полевого блока расположены снаружи технологического объекта, поэтому обслуживание его выполняется непосредственно на площадке без демонтажа.

## Анализаторы WDG-IV с быстрым откликом



Анализаторы **WDG-IV** предназначены для влажных газов в системах регулирования установок на газомазутном топливе. Необходимый при этом быстрый отклик достигается принудительным продвижением пробы через зонд.

Анализаторы **WDG-IV** конструктивно выполнены так же, как и WDG-HPII, и отличаются наличием воздушного эжектора, который отбирает пробу через зонд и подает ее в первичный контур полевого блока. Часть пробы попадает в ячейку исключительно за счет конвективной разности температур в полевом блоке и возвращается в первичный контур.

Из первичного контура проба вместе с воздухом возвращается, минуя зонд, в технологический поток, образуя замкнутый контур. Для уменьшения времени отклика фильтр на конце зонда, как правило, отсутствует, но может быть установлен по заказу.

Эжектор расположен в нижней части полевого блока у зонда и запитывается воздухом КИП через редуктор с манометром.

За счет нагревателя ячейки и дополнительного нагревателя зонда температура газа в зонде и тракте полевого блока всегда выше температуры точки росы пробы. Это очень важно при анализе влажных газов.

Максимальная температура погружной части зонда зависит от материала (от 704°C до 1760°C). Максимальная длина зонда 244 см.

## Другие возможности ячеек из оксида циркония

Как правило в печах и котлах не происходит качественного смешивания топлива и воздуха. В результате в дымовых газах присутствуют одновременно кислород и остаточные горючие компоненты. На поверхности ячейки из-за высокой температуры происходит окисление остаточных горючих компонентов кислородом, содержащимся в дымовых газах. Анализаторы на основе оксида циркония измеряют *нетто* кислород, т. е. концентрацию кислорода, остающегося после сгорания топлива в печи и окисления горючих компонентов на поверхности нагретой ячейки. Другие анализаторы измеряют кислород *брутто*, т. е. только концентрацию кислорода, оставшегося после сгорания в печи. Обычно различие между *нетто* и *брутто* значениями невелики, поскольку концентрация горючих компонентов находится в диапазоне ppm, а кислорода - в процентном диапазоне. Однако, иногда возможны ситуации, когда это различие становится существенным.

Различия могут возникать также из-за того, что ячейка из оксида циркония измеряет кислород по *влажному базису*, т. е. когда дымовой газ содержит водяной пар. Все другие методы измерений требуют охлаждения и осушки пробы, и, как принято говорить, работают по *сухому базису*. Различие между замерами по сухому и влажному базисам может достигать до 0,5%O<sub>2</sub>, поскольку концентрация водяных паров в дымовых газах может быть высокой.

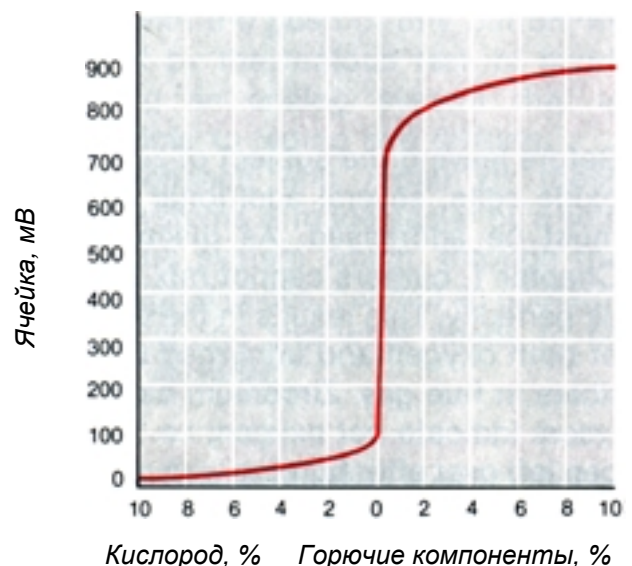
Оба метода: по *влажному* или *сухому* базисам, - являются стандартными.

Ячейки из оксида циркония обладают еще одним уникальным свойством. В отсутствие молекулярного кислорода, датчик реагирует на минимальное количество кислорода, образующегося при диссоциации воды и двуокиси углерода на нагретой поверхности ячейки.

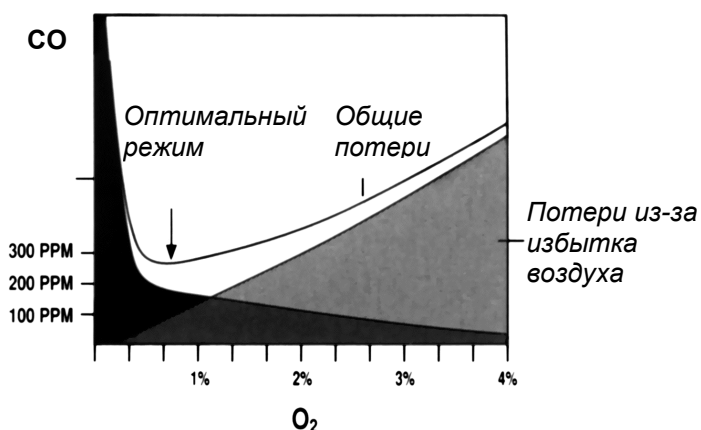
Эта диссоциация замедляется в присутствии горючих компонентов (H<sub>2</sub> и CO) в пробе.

С ростом концентрации горючих компонентов концентрация кислорода уменьшается, и выходной сигнал ячейки увеличивается. Это значит, что выходной сигнал циркониевой ячейки меняется, когда кислород *нетто* отсутствует в дымовом газе. Фактически она становится датчиком *чисто* горючих компонентов (*нетто*).

На рисунке показано, как резко возрастает напряжение на ячейке, когда в дымовом газе условия от *нетто* кислород изменяются на *нетто* горючие компоненты. Это свойство циркониевой ячейки чрезвычайно полезно в некоторых процессах горения, поскольку позволяет измерять либо избыток воздуха, либо избыток топлива.



## Оптимизация процесса горения для различных видов топлив и режимов



Анализаторы кислорода являются весьма эффективным средством контроля за процессами горения. Тем не менее, для обеспечения оптимальных условий одно измерение концентрации кислорода недостаточно. На рисунке показана зависимость оптимального содержания кислорода от вида топлива. Кроме того, на оптимальное содержание кислорода оказывает влияние и нагрузка на котел. В то же время, оптимальный уровень CO в дымовых газах одинаков для всех видов топлива и различных тепловых нагрузок. Поэтому регулирование не только по кислороду, но и по CO, позволяет в полной мере оптимизировать процесс горения.

## Каталитические ячейки для измерения концентрации горючих компонентов

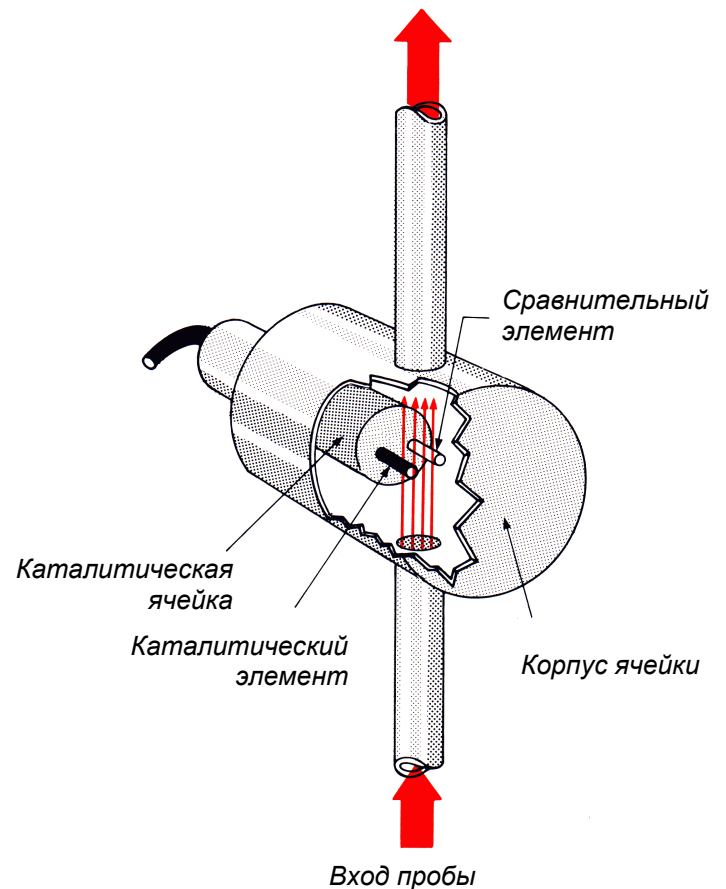
Помимо CO в дымовых газах имеется водород, метан и другие горючие компоненты. Измерение концентрации водорода сопряжено с определенными сложностями, а концентрация его обычно меньше, чем концентрация CO, и их соотношение практически постоянно. В связи с этим имеется большое количество публикаций об оптимизации процессов горения только на основе измерения кислорода и CO. Однако, истинная оптимизация возможна на основе измерения суммарной концентрации всех остаточных горючих компонентов, включая CO, водород и метан. Для измерения этих компонентов в некоторых анализаторах WDG дополнительно установлены каталитические ячейки.

Каталитические ячейки широко применяются для измерения концентрации горючих газов в атмосфере шахт, гаражей и других закрытых помещений. Ячейки высокого качества с тщательно подобранными элементами могут использоваться для измерений концентрации горючих компонентов в дымовых газах в диапазонах измерения 0...2000 ppm с погрешностью  $\pm 100$  ppm и ниже.

Принцип измерения для всех каталитических ячеек одинаков. Если горючие компоненты и кислород одновременно присутствуют в газовом потоке, они не будут воспламеняться до тех пор, пока температура не превысит  $538^{\circ}\text{C}$ . Однако, если эта же смесь приходит в контакт с твердым катализатором, например, платиной, горение начнется уже при температуре  $204^{\circ}\text{C}$ .

Каталитическая ячейка состоит из двух резисторов, смонтированных вблизи друг друга внутри корпуса, через который может протекать проба. Один из резисторов, называемый активным элементом, покрыт слоем катализатора в инертном связующем веществе. Другой элемент, называемый эталонным, покрыт тем же самым связующим веществом, но без катализатора. Когда анализируемый газ, содержащий кислород и горючие компоненты, проходит через корпус, нагретый выше  $204^{\circ}\text{C}$ , на активном элементе происходит сгорание, а на эталонном - нет. В результате этого температура активного элемента повышается, что вызывает изменение его сопротивления.

Сопротивление активного элемента зависит от многих других факторов, включая начальную температуру анализируемого газа, скорость потока через корпус, теплопроводность газа. Однако, эталонный элемент подвергается воздействию этих же самых факторов. Поэтому сопротивление активного элемента будет отличаться от эталонного только из-за нагрева от сгорания горючих компонентов и, следовательно, определяться их концентрацией в пробе.



Такие ячейки способны измерять концентрацию горючих компонентов в диапазоне ppm, если используются тонкопленочные резисторы с лазерной обработкой и компьютерным согласованием температурных коэффициентов. При этом необходимо, чтобы температура корпуса и газового потока поддерживалась достаточно стабильной.

Каталитические ячейки имеют невысокую стоимость и одновременно обладают хорошей чувствительностью по  $\text{H}_2$  и CO. Стабильность нуля и диапазона у них несколько хуже по сравнению с инфракрасными (ИК) анализаторами. Однако последние являются сложными и дорогими приборами, а оптические окна и вращающиеся детали затрудняют эксплуатацию и ремонт этих анализаторов.

Чтобы исключить эти сложности, в анализаторах Thermo WDG для измерения суммарной концентрации остаточных горючих компонентов используются именно каталитические ячейки. Достоинство их использования вместе с ячейкой по кислороду является то, что измерение концентрации горючих компонентов происходит при температуре значительно выше точки росы дымовых газов. В то же время, не требуется вводить коррекцию показаний на температуру.

## Комбинированные анализаторы Thermax WDG

Разработаны модификации анализаторов дымовых газов Thermax WDG, в которых одновременно с измерением концентрации кислорода производится измерение концентрации горючих компонентов. Каталитические ячейки, измеряющие концентрацию горючих компонентов, устанавливаются только в полевые блоки анализаторов серий **WDG-HPII** и **WDG-IV**:

**WDG-HPIIC** - анализатор кислорода и горючих компонентов для сильно загрязненных дымовых газов.

**WDG-IVC** - анализатор кислорода и горючих компонентов с быстрым откликом.

**WDG-IVCM** - анализатор кислорода, горючих компонентов и метана с быстрым откликом.

## Анализатор WDG-IVCM

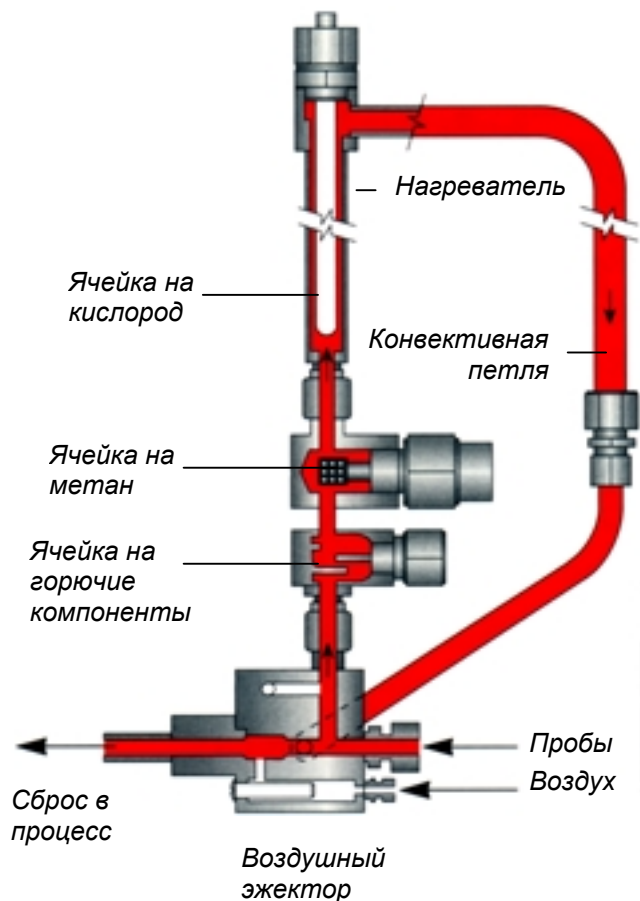
Анализатор **WDG-IVCM** - трехкомпонентный анализатор дымовых газов с замкнутым контуром принудительного пробоотбора. Отличается от анализатора **WDG-IV** тем, что к ячейке для измерения концентрации кислорода добавлены две каталитических ячейки, предназначенные для отдельного измерения концентрации горючих компонентов и метана.

Анализатор идеален для применения в энергетических установках, работающих на природном газе, или в процессах, где газ используется для пуска или останова. С помощью этого анализатора можно контролировать содержание кислорода и горючих компонентов для обеспечения максимальной эффективности процесса горения. В то же время, ячейка по метану непрерывно отслеживает процесс для определения превышения взрывоопасной концентрации и предотвращения аварийной ситуации, а также для решения других проблем, возникающих в топке при пуске или останове энергетической установки.

Анализируемый газ отбирается через зонд в первичный контур анализатора с помощью воздушного эжектора и затем возвращается в процесс. Часть этой пробы (примерно 5%) поступает в конвективную петлю полевого блока, где попадает в первую каталитическую ячейку, с помощью которой измеряется концентрация горючих компонентов. Далее проба поступает в следующую каталитическую ячейку, работающую при температуре, достаточно высокой, чтобы измерять содержание метана. Затем проба проходит в ячейку из оксида циркония, где измеряется концентрация кислорода, после чего возвращается в первичный контур.

Измерительные ячейки не загрязняются, так как движение пробы через них происходит исключительно за счет конвекции. Она вызвана разностью температур между кислородной ячейкой, имеющей свой нагреватель, и выходом из полевого блока с более низкой температурой.

Анализатор **WDG-IVC** отличается от **WDG-IVCM** только отсутствием ячейки для измерения концентрации метана.



## Базовый контроллер 2000

Все базовые модели анализаторов **WDG** оснащены микропроцессорными контроллерами 2000.

### **Микропроцессорное управление:**

- ◆ Регулирует температуру кислородной ячейки.
- ◆ Преобразует сигналы ячеек в показания концентрации измеряемых компонентов.
- ◆ Формирует изолированные и независимые аналоговые и релейные выходные сигналы по измеряемым компонентам.
- ◆ Диагностирует и сигнализируют состояние анализатора и полевого блока, а также сигнализирует о неисправностях.
- ◆ Вводит коррекцию на повышенное давление пробы (опция).
- ◆ Выполняет автоматическую калибровку с периодичностью, задаваемой пользователем (при наличии блока для автоматической калибровки).

### **Надежность**

Для обеспечения надежной работы в контроллере использованы высококачественные детали и узлы, включая универсальный источник питания. Во входных и выходных цепях применены стандартные электронные схемы для защиты от переходных процессов. Контроллер 2000 устойчив к радиочастотным помехам и атмосферным разрядам. В его состав включены два независимых контрольных реле времени.

### **Модульная конструкция и варианты монтажа**

Модульная конструкция контроллера обеспечивает удобство и простоту обслуживания, а также позволяет легко модернизировать или наращивать функции. Контроллеры поставляются в различных исполнениях, предназначенных для различных вариантов монтажа: на щите, в стойку 19", на стене, а также в погодозащищенном шкафу для монтажа на щите.

### **Аналоговые выходы**

Контроллер имеет два независимых токовых выхода (4...20 мА) для кислорода и по одному - для горючих компонентов и метана. Пользователь может:

- ◆ Задать выходной сигнал, пропорциональный концентрации кислорода или сигналу ячейки (мВ), температуре ячейки или сигналу терморпары (мВ), концентрации горючих компонентов и метана.
- ◆ Выбрать режим фиксации или отслеживания показаний в процессе выполнения калибровки
- ◆ Задать масштаб и уровень демпфирования для каждого выхода.



### **Сигнализация**

Каждую из двух независимых схем сигнализации можно запрограммировать на верхний или нижний порог по концентрации измеряемых компонентов, или на индикацию режима калибровки, или на индикацию сигналов самодиагностики.

### **Простота эксплуатации**

Контроллер имеет информативный текстовый дисплей и удобный интерфейс пользователя. Флюоресцентный дисплей состоит из 4 строк по 20 символов, причем четвертая строка предназначена для диагностических сообщений и сообщений об ошибках. Клавиша HELP предоставляет Вам контекстную подсказку.

## Интеллектуальные анализаторы WDG- /IQ

Для систем мониторинга и управления технологическими установками, в которых для коммуникации с удаленными периферийными устройствами используется интерфейс RS-485 или HART-протокол, разработаны так называемые "интеллектуальные" (IQ) анализаторы дымовых газов, работающие без контроллеров:

**WDG-Insitu/IQ** - зондовый анализатор кислорода.

**WDG-HPII/IQ** - зондовый анализатор кислорода для загрязненных газов с ячейкой в полевом блоке и конвективной подачей пробы.

**WDG-IV/IQ** - зондовый анализатор кислорода с быстрым откликом с ячейкой в полевом блоке и принудительной подачей пробы.

Эти анализаторы имеют те же характеристики и оснащаются такими же зондами, что и аналогичные анализаторы с контроллерами. Электронная схема "интеллектуальных" анализаторов размещена в коробке зонда или в полевом блоке и выполняет практически те же функции, что и контроллер 2000. Для программирования анализаторов используется портативный терминал с интерфейсом RS-232.



Работа сети интеллектуальных анализаторов дымовых газов (до 32 единиц) может также контролироваться и программироваться с помощью компьютера или специализированного сетевого контроллера.

## Другие анализаторы AMETEK Thermo

Кроме анализаторов типа WDG компания AMETEK Thermo выпускает и другие анализаторы газов:

**TM2000** - высокоточный стационарный проточный анализатор кислорода для чистых газов, включая полевой блок и контроллер 2000.

**CG1000** - высокоточный переносной проточный анализатор кислорода для чистых газов (питание ~220 В).

**WDG-P** - переносной проточный анализатор кислорода для дымовых газов (питание ~220 В).

**WDG-P-CA** - переносной проточный анализатор кислорода и горючих компонентов для дымовых газов (питание ~220 В).

**EI 20** - стационарный анализатор CO (инфракрасный). Состоит из двух модулей полевого блока (источника излучения и приемника) и контроллера 2000. Модули полевого блока устанавливаются на противоположных стенках котла или дымохода. Максимальная температура дымовых газов 540°C. Длина оптического пути 0,9...9 м.

**EI 20/IQ** - "интеллектуальный" вариант EI 20.

**PreMix 2000** - стационарный проточный анализатор для измерения соотношения кислорода и топлива в смеси газов в условиях избытка или дефицита воздуха. Предназначен для процессов открытого сгорания, где невозможен достоверный анализ дымовых газов. В анализаторе проба (смесь горючих газов и окислителя) предварительно сжигается, после чего измеряется концентрация кислорода в продуктах сгорания. Комплект включает полевой блок и контроллер 2000.

**WDG-Humox** - стационарный зондовый анализатор кислорода и влажности дымовых газов. Рассчитан на температуру анализируемого газа до 1760°C и влажность до 85%. Объемный процент влаги вычисляется, исходя из разницы значений концентрации кислорода по сухому и влажному базису. Комплект включает полевой блок с зондом и контроллер 2000.

**CEM O<sub>2</sub>** - стационарный проточный анализатор кислорода для систем мониторинга. Комплект включает полевой блок и контроллер 2000.

**CEM O<sub>2</sub>/IQ** - "интеллектуальный" вариант CEM O<sub>2</sub>.

Для информации и заказа обращаться:

**Артвик Р**, Россия, 125315, Москва, ул. Часовая, 30  
Тел. (095) 956-70-79, Факс (095) 956-70-78, E-mail: [info@artvik.ru](mailto:info@artvik.ru)  
Internet: [www.artvik.ru](http://www.artvik.ru)

© 2002 Artvik, Inc.