

УДК 621.43.056

**КОНТРОЛЬ ПРОЦЕССА СЖИГАНИЯ ТОПЛИВА В КОТЛАХ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КИСЛОРОДНЫХ ЗОНДОВ**

**QUALITY CONTROL OF COMBUSTION GAS IN THE BOILERS USING OXYGEN PROBES**

**А.А. Запорожец**

*Институт технической теплофизики НАН Украины, Украина, Киев  
(Тел. (38099)0478418 e-mail:lektron2007@gmail.com).*

**Аннотация:** Рассматриваются особенности применения новых энергосберегающих технологий на объектах коммунальной и промышленной теплоэнергетики, в частности – кислородных зондов на основе диоксида циркония. Цель работы – обосновать возможность применения кислородных зондов в котлах малой мощности (до 3,5 МВт). Проведен анализ формирования обедненных и обогащенных смесей «воздух-топливо» в топках котлоагрегатов, отображена возможность фиксации коэффициента избытка воздуха при помощи зондового альфа-индикатора. Приведены схема внедрения кислородного зонда в объект контроля и особенности формирования выходного сигнала. Результаты исследования могут быть широко использованы для контроля образования стехиометрических смесей «воздух-топливо» на теплоэнергетических объектах.

**Abstract:** Considered the features of the application of new energy-saving technologies on municipal and industrial objects, in particular – oxygen probes based in zirconium dioxide sensor. The main objective of the work is to justify the possibility of using oxygen probes in boilers of low power (below 3,5 MW). The formation of depleted and enriched “air-fuel” mixtures in boilers with displaying excess air ratio using probe alpha indicator are analyzed. Given the introduction scheme of oxygen probe and characteristics of the output signal. The results can be widely used to control the formation of stoichiometric “air-fuel” mixtures on engineering objects.

**Ключевые слова:** горение, топливо, оптимизация, кислородный зонд, коэффициент избытка воздуха, котельное оборудование, стехиометрическая смесь

**Keywords:** combustion, fuel, optimization, oxygen probe, excess air ratio, boiler equipment, stoichiometric mixture.

---

Жилищно-коммунальное хозяйство является важной подсистемой топливно-энергетического комплекса (ТЭК), что потребляет значительную часть от общего объема ископаемых и импортируемых топливно-энергетических ресурсов.

В последние годы в большинстве стран мира усложнился процесс добычи первичных топливно-энергетических ресурсов. Это приводит к росту затрат на их переработку и транспортировку. Поэтому основными тенденциями мирового научно-технического направления в данной области является снижение затрат при выработке тепловой энергии за счет повышения КПД котельного оборудования; совершенствования автоматизации технологических процессов при сжигании топлива; совершенствование технологии сжигания топлива в горелочных устройствах; совершенствование конструкции теплогенераторов и котельного оборудования, создание оборудования для использования в коммунальном хозяйстве нетрадиционных источников тепла (энергии ветра и солнца, тепла земли, вторичных источников тепла), разумное сочетание централизованной и децентрализованной систем теплоснабжения.

На сегодняшний день оборудование многих энергетических объектов физически и морально устарело. Большая часть теплоэнергооборудования была введена в эксплуатацию в 70-80-х годах. За данными Минрегионстроя и ЖКХ в Украине насчитывается более 6000 единиц котельных установок теплопроизводительностью 1 Гкал/ч с КПД около 70%, что требуют замены и модернизации, 40% котлов эксплуатируются с КПД менее 82%, около 11 тысяч котлов мощностью от 100 кВт до 1 МВт находятся в эксплуатации более 20 лет, срок эксплуатации 57% котельных превышает 20 лет.

### СЕКЦИЯ 3 (ЭРПО 2014)

Старение энергетического оборудования приводит к низкой эффективности его работы и способствует повышению выброса вредных веществ в окружающую среду.

Эффективность работы котлоагрегатов в значительной степени определяется качественными показателями систем управления процессом сжигания газового топлива и систем автоматического регулирования расходов общего воздуха, которые предназначены для поддержки наиболее экономичного режима горения в топке котла. Полное сжигание единицы объема топлива требует подачи определенного объема воздуха, количество которого зависит от вида и сорта топлива и его характеристик. С целью устранения возможного недожога и обеспечения необходимого запаса на регулирование в топку котла подается несколько больше воздуха, чем нужно для полного сгорания топлива. Величина избытка воздуха существенно влияет на потери теплоты в котле с дымовыми газами, образование продуктов химического и механического недожога, и в конечном итоге – на КПД котла [1].

Сейчас на большинстве промышленных и коммунальных предприятий контроль состава дымовых газов не проводится, а регулирование расхода воздуха осуществляется при помощи режимных карт. Такое регулирование не обеспечивает учет всего многообразия возможных режимов работы, что связано с неоднородным составом топлива, а также скоростью его подачи в топку котла, не позволяя повысить энергоэффективность котлоагрегатов и снизить уровень выбросов вредных/токсичных веществ в атмосферу.

Повышение уровня рациональности и эффективности сгорания топлива является важной, решение которой приведет к значительной экономии (~10%) топливных веществ за счет снижения потерь теплоты и топливных материалов с их химическим недожогом.

Для рациональной работы котельной установки необходимо придерживаться определенного соотношения между объемами воздуха и топлива, поступающих в горелку котла. Оптимальное соотношение «воздух-топливо» при сгорании характеризуется величиной избытка кислорода в дымовых газах, или так называемым коэффициентом избытка воздуха  $\alpha$  (рис. 1).

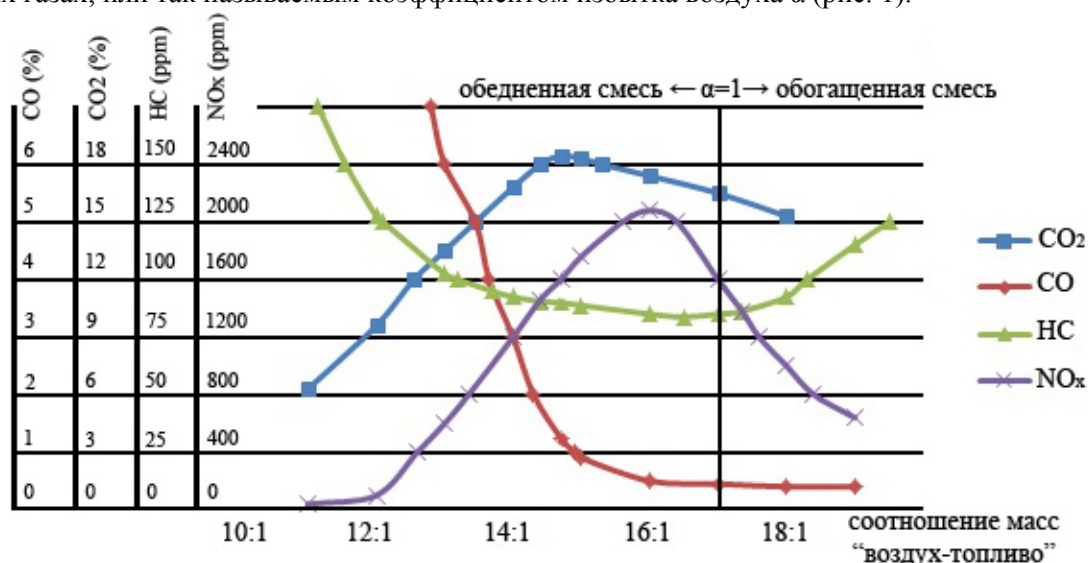


Рис. 1. Зависимость изменения содержания вредных веществ в дымовых газах котла от состава воздушно-топливной смеси

При  $\alpha=1$  работа горелки является приближенной к оптимальному режиму. Изменение состава поданного топлива приводит к вариации содержания отработанных газов. На рис. 1 показана зависимость концентрации загрязняющих примесей газовых выбросов от массового соотношения «воздух-топливо» при использовании метана в качестве горючего вещества.

Теоретическое значение коэффициента избытка воздуха определяется не только содержанием кислорода в отработавших газах, но и наличием других веществ (CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, HC). Кроме этого необходимо учитывать параметры используемого топлива.

Наличие избыточного воздуха в дымовых газах можно контролировать за счет кислородного зонда. При этом для отображения результатов контроля рекомендовано использование зондового альфа-индикаторов (рис. 2) [2].



Рис. 2. Зондовый альфа-индикатор

(разработка ГП «НТЦ энергетического приборостроения ИТТФ НАН Украины)

Коррекция параметров смеси, поступающей в топку котельной установки, реализуется путем уменьшения или увеличения количества дутьевого воздуха по сигналам обратной связи от кислородного зонда. Обогащение смеси приводит к увеличению содержания СО и НС в дымовых газах, увеличению расхода топлива и неэффективной работе котельной установки, а обеднение – к увеличению содержания НС и NO<sub>x</sub> (при α>1 наблюдается снижение уровней выбросов NO<sub>x</sub> в результате снижения температуры рабочего процесса).

Кислородные зонды широко используются в автомобилестроении в связи с постоянно растущими требованиями к токсичности дымовых газов, и часто устанавливается вместе с каталитическими конверторами. Схема подключения кислородного зонда показана на рис. 3.

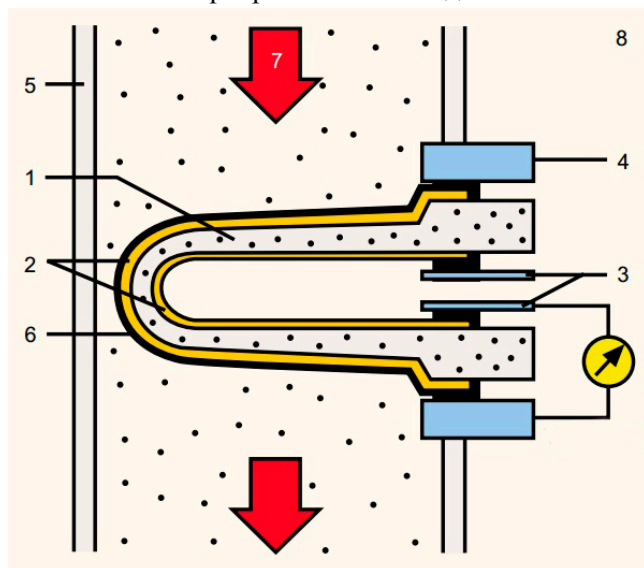


Рис. 3. Схема подключения кислородного зонда (1 – керамическое покрытие, 2 – электроды, 3 – контакты, 4 – контакты корпуса, 5 – стенка корпуса, 6 – керамическая поддерживающая оболочка (пористая), 7 – дымовые газы, 8 – атмосферный воздух)

В качестве основного вещества в большинстве кислородных зондов используется газонепроницаемая керамика из диоксида циркония (ZrO<sub>2</sub>), стабилизированного оксидом иттрия (YO). Датчик уровня кислорода размещается непосредственно в топке котла или в начале дымового тракта. На внешнюю и внутреннюю стороны керамики наносятся газопроницаемые электроды из тонкого слоя платины. Платиновый электрод на внешней стороне играет роль миниатюрного

катализатора, поддерживая в близлежащем слое уходящих газов прохождение химических реакций; этот слой находится в состоянии стехиометрического равновесия. Сторона чувствительной керамики, направленная в сторону дымовых газов, покрыта слоем пористой шпинелевой керамики (шпинель – минералогическое название тетраоксида диалюминия-магния). Металлическая труба со щелями предохраняет керамику от ударов и чрезмерных тепловых нагрузок. Внутренняя полость соединяется с атмосферой и служит в качестве опорной стороны.

Керамический материал пропускает ионы кислорода при температуре 350<sup>0</sup>С и выше. Разница в количестве кислорода с разных сторон чувствительной зоны зонда приводит к образованию электрического потенциала между двумя поверхностями (внутренней и внешней). Величина напряжения характеризует разницу содержания кислорода между этими плоскостями.

В зависимости от количества дутьевого воздуха  $U_{\text{вых}}=0,8-1,0$  В для обогащенной смеси и  $U_{\text{вых}}=0,05-0,1$  В для обедненной смеси. Зона между избытком и дефицитом воздуха соответствует стехиометрическому соотношению ( $U_{\text{вых}}=0,45-0,5$  В, рис. 4).

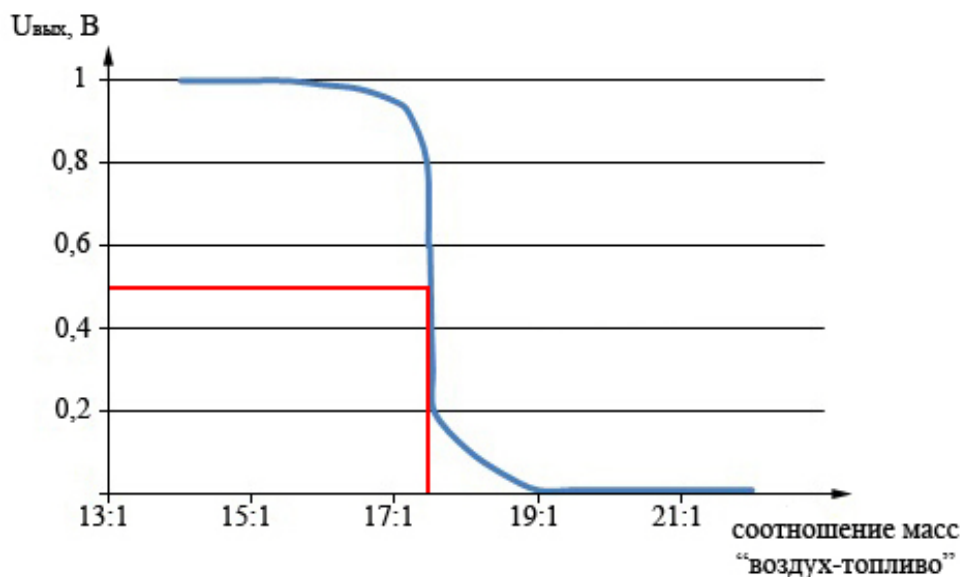


Рис. 4. Зависимость напряжения на выходе кислородного зонда от соотношения состава воздушно-топливной смеси

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Романенко В.І. Автоматизація процесу спалювання газового палива в котлоагрегатах ТЕЦ промислових підприємств: автореф. дис. на здобуття ступеня канд. техн. наук: спец. 05.13.07 «Автоматизація процесів керування» / В.І. Романенко. – Дніпропетровськ, 2005. – 19 с.
2. Бабак В.П., Назаренко О.О. Шляхи оптимізації процесів горіння в котлах в залежності від якості природного газу з використанням  $\alpha$  – зондів // Проблеми екології та експлуатації об'єктів енергетики. Матеріали XXII міжнародної конф. – 8-12 июня 2013, Ялта. – К.: 2013. – С. 178-181.