

# ВОПРОСЫ СНИЖЕНИЯ ОКСИДОВ АЗОТА ПРИ ЦИКЛОННО-ВИХРЕВОМ СЖИГАНИИ ПРИРОДНОГО ГАЗА

Лесных А.В., Головатый С.В., Штым К.А.

Дальневосточный федеральный университет.  
690950, г. Владивосток, ул. Суханова, д. 8.

Одной из наиболее важных экологических проблем энергетики, является снижение выбросов оксидов азота  $\text{NO}_x$ . Способы снижения можно условно разделить на технологические и аппаратные.

К аппаратным относится очистка дымовых газов от оксидов азота, что подразумевает большие капитальные вложения. Из технологических методов снижения, наиболее интересным представляется циклонно-вихревая технология снижения топлива в воздух охлаждаемых циклонно-вихревых предтопок (ЦВП), конструкция которого представлена на рисунке 1.

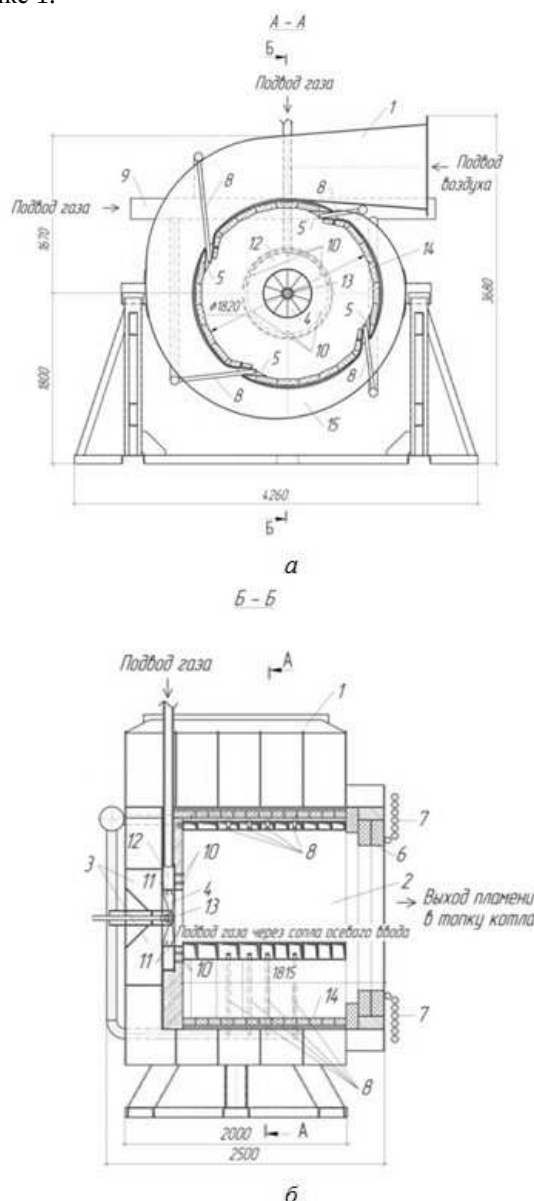


Рис 1. Конструкция газо-мазутного циклонно-вихревого предтопка; (а) поперечный разрез; (б) – продольный разрез; 1 – распределительный короб воздуха; 2 – камера сгорания; 3 – торцевая вихревая камера; 4 – аксиальный завихритель; 5 – сопла тангенциального ввода воздуха; 6 – пережим; 7 – поверхности нагрева котла; 8 – сопла тан-

генциального ввода газа; 9 – тангенциальный газовый коллектор; 10 – сопла торцевого ввода газа; 11 – сопла осевого ввода газа; 12 – торцевой газовый коллектор; 13 – многосопловая центробежная форсунка; 14 – футеровка; 15 – “улитка”.

ЦВП представляют собой воздухоохлаждаемые вихревые топочные устройства с торцевым и многосторонним (3х;4х) тангенциальным вводом воздуха, который осуществляется через систему сопел. На входе в камеру сгорания циклонно-вихревого предтопка (КСЦВП) установлен направляющий аппарат, который представляет собой аксиальный завихритель. Подача топлива природного газа осуществляется в различных комбинациях, наиболее распространенной является торцевая и тангенциальная подача [1].

За все время эксплуатации конструкция ЦВП подвергалась изменениям. Анализ данных испытаний показывает, что выбросы  $\text{NO}_x$  на котлах с ЦВП практически в 1,5 – 2 раза ниже, чем на аналогичных котлах с заводскими горелочными устройствами. На рисунке 2 представлена зависимость безразмерной концентрации оксидов азота, приведенного к нормативному значению ( $125 \text{ мг/м}^3$ ) при нормальных условиях, от нагрузки различных котлов.

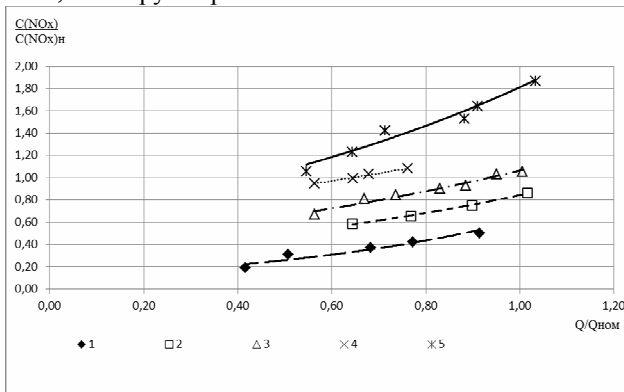


Рис 2. Зависимость безразмерной концентрации оксидов азота в дымовых газах от относительной нагрузки котлов, приведенная к нормальным условиям при  $\alpha=1,4$ ; 1-для котла БКЗ-75-16ГМ ст.№2 (ВТЭЦ1); 2-для котла КВГМ-100-150МЦ ст.№1 (ТЦ «Северная»); 3-для котла ПТВМ-100-150МЦ ст.№2В (ЯТЭЦ); 4- для котла ПТВМ-100-150 ст.№3В (ЯТЭЦ); 5- для котла КВГМ-100-150 ст.№5В (ЯТЭЦ) .

Наибольшего снижения оксидов азота удалось добиться на котле БКЗ-120-100М «Охинской» ТЭЦ.. Выбросы составили  $30\text{--}40 \text{ мг/м}^3$  при коэффициенте избытка воздуха в уходящих газах 1,02 и отсутствием  $\text{CO}$ .

При определении оптимального распределения газа в камеру сгорания ЦВП котла БКЗ-120-100МЦ были рассмотрены следующие варианты:

1) Центральный ввод газа, при этом вводе удалось достичь паропроизводительности 147 т/ч при избытке воздуха  $\alpha=1,21$ , но выбросы оксидов азота приведенные к  $\alpha=1,4$  составили 170 мг/м<sup>3</sup>.

2) Осевой и торцевой ввод газа, при нагрузке 137 т/ч и  $\alpha=1,17$  выбросы оксидов азота приведенные к  $\alpha=1,4$  составили 140 мг/м<sup>3</sup>, но при таком распределении наблюдалась сильная вибрация ЦВП.

3) Торцевой, осевой и односторонний тангенциальный подвод газа, при нагрузке 132 т/ч и  $\alpha=1,13$  выбросы оксидов азота приведенные к  $\alpha=1,4$  составили 127 мг/м<sup>3</sup>, при данном распределении факел ложился на стену топочной камеры, что могло привести к пережогу экранных поверхностей нагрева

4) Четырехсторонний тангенциальный подвод газа с полным предварительным смешением позволил достигнуть нагрузки 149 т/ч при  $\alpha=1,02$ . При данной компоновке циклонный предтопок работал 12 дней на номинальной нагрузке с тангенциальным соотношением  $\alpha=1$ , без следов СО и концентраций NOx 30-40 мг/м<sup>3</sup>, за счет предварительного смешения было достигнуто полное сгорание в камере ЦП, что привело к недопустимым тепловым напряжениям и как следствие расплавление металла и обмуровки ЦВП.

После разрушения ЦП была проведена реконструкция тангенциальных сопловых вводов, с переносом газовых трубок на срез воздушных сопел (рисунок 6). При данной компоновке и осевым, торцевым и четырехсторонним тангенциальным вводами газа удалось котлоагрегат эксплуатироваться в течении 11 лет на максимальной нагрузке 145 т/ч с коэффициентом избытка  $\alpha=1,1$  выбросы оксидов азота приведенные к  $\alpha=1,4$  составили 117 мг/м<sup>3</sup>.

При анализе работы других котлов оснащенных ЦВП и переведенными на сжигание природного газа, видно что на однотипных котлах выбросы оксидов азота при одинаковых нагрузках различаются на 30-40%. Эта разница в значениях объясняется тем, что во время реконструкции отсутствовал строгий авторский надзор и тангенциальные вводы были выполнены не строго тангенциально, а под срез воздушных сопел. Часть заглублена, часть вводов выполнена хордально.

По данным тарировок и испытаний была составлена математическая модель предтопка, из анализа которой видно, что основные зоны генерации оксидов азота находятся после тангенциальных вводов газа на расстоянии 2/3 радиуса камеры сгорания от ее центра [2].

Учитывая опыт эксплуатации котла БКЗ-120-100М Охинской ТЭЦ, а так же проведенный анализ других котлов оснащенных ЦВП для сокращения выбросов оксидов азота можно использовать частичное предварительное смешение топлива и воздуха. Для осуществления этого предлагается разнести тан-

генциальные вводы газов во все воздушные сопла кроме последнего по ходу газов. Обеспечив при этом условия близкие к стехиометрическим. Заглубив газовые сопла в воздушные необходимо обеспечить условия подачи газа в воздушный поток. Диаметры газовыпускных отверстий определяются по формуле 1.

$$d = \frac{\eta \mu h \omega_g}{k_s \omega_c} \sqrt{\frac{\rho_g}{\rho_c}}, \quad (1)$$

где  $d$ - диаметры газовыпускных отверстий (м);  $\eta$ - поправочный коэффициент учитывающий увеличение скорости смеси за счет ввода в воздушный канал газа;  $\mu$ - коэффициент истечения газа из отверстий;  $k_s$ - коэффициент пропорциональности;  $\rho_g$ ,  $\rho_c$ - плотности воздуха и газа (кг/м<sup>3</sup>);  $h$ - глубина проникновения струи газа в воздушный поток (м).

Число газовыпускных отверстий для каждого коллектора рассчитывается по формуле 2.

$$n = \frac{B_c}{3600 \omega_c} \frac{273 + t_c}{273} \frac{1}{0,785 d^2}, \quad (2)$$

где  $B_c$ - расход газа на газовый ввод (м<sup>3</sup>/ч);  $t_c$ - температура газа (°C);  $\omega_c$ - скорость истечения газа из газовыпускного отверстия (м/с);  $d$ - то же что в формуле 1.

При оптимальных значениях  $d$  и  $n$ , определенных для каждого тангенциального газового ввода, глубина проникновения струи по ее оси в сносящий поток воздуха согласно [3] составит 0,04 м, а диаметр струи принявшей направление воздушного потока  $D_c$  составит 0,032 м. Наилучшим распределением газа по тангенциальным соплам является /10/15/40/15/10/10/-/ (в процентном соотношении). Количество газовыпускных отверстий по газовым соплам составит /2/2/6/2/2/2/-/. Это позволит добиться работы ЦВП с неполным предварительным смешением.

Анализ математической модели для такого распределения газа показывает возможность работы ЦВП с коэффициентом избытка воздуха  $\alpha=1,02$  и концентрацией оксидов азота 57 мг/м<sup>3</sup> (41,5 мг/м<sup>3</sup> при  $\alpha=1,4$ ) при отсутствии недопустимых тепловых напряжений.

#### Список литературы:

1. Штым А.Н., Штым К.А., Дорогов Е.Ю. Котельные установки с циклонными предтопками., Владивосток. Издат. дом Дальневост. федерал. ун-т. 2012. 421 с..
2. Штым К. А. Снижение выбросов окислов азота в котлах с циклонно-вихревыми камерами., Научное обозрение. 2013., Выпуск №1., с. 143-148.
3. Спейшер В. А., Горбаненко А. Д. Повышение эффективности использования газа и мазута в энергетических установках., Москва. Энергоатомиздат. 1982.-240с.