

**Анализ конструкций горелочных устройств, с пониженным выбросом оксидов азота для нагревательных и термических печей**

Студент гр.104137 Маскальчук А.С.  
Научный руководитель – Ратников П.Э  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

При сжигании топлива оксиды азота образуются в виде  $N_2O$ ,  $NO$  и  $NO_2$ . Сумму оксидов азота обозначают как  $NO_x$ . Гемоксид азота ( $N_2O$ ) образуется в начальном участке факела, а затем окисляется до оксида азота ( $NO$ ), т.е не выбрасывается в атмосферу с продуктами сгорания. В топочной камере образуются преимущественно оксиды азота ( $NO$ ) в количестве (92 – 98)% от  $NO_x$ . Диоксиды азота ( $NO_2$ ) составляют лишь (2 – 7)% от суммы  $NO_x$ . Однако на выходе из дымовой трубы, т.е в атмосфере, около 80%  $NO$  превращаются в более токсичные –  $NO_2$ .

Все оксиды азота оказывают негативное воздействие на здоровье человека. Диоксид азота наиболее токсичный из группы  $NO_x$ . Концентрация в 15 мг/м<sup>3</sup> вызывает раздражение глаз; концентрация 200–300 мг/м<sup>3</sup> опасна даже при кратковременном вдыхании. Попадая в легкие и соединяясь с гемоглобином крови, оксиды азота могут вызвать отек легкого и понизить кровяное давление (образуется метгемоглобин). Особая опасность оксидов азота в том, что они отнесены к коканцерогенам – веществам, стимулирующим в сочетании с канцерогенами развитие онкологических заболеваний.

Самым распространенным способом преобразования энергии из химически связанного состояния является сжигание в технических устройствах. При высоких температурах реагирует азот воздуха со свободными атомами по механизму Целдовича до окиси азота. Этот процесс определяется также как термическое образование окиси азота, поскольку реакция сильно зависит от температуры. Существенное образование термического  $NO$  начинается от около 1600°C и очень сильно растёт с ростом температуры. Адиабативная температура горения обычного топлива достигает при использовании воздуха около 2000°C и соответственно повышается при предварительном нагреве воздуха для горения. Это ведет к тому, что при процессах горения, еще до введения граничных значений на допустимые выбросы, необходимо предпринять меры к снижению образования  $NO$ .

Обычно потенциал экономии энергии используется только частично, и одной из главных причин тому является повышение температуры факела при высоком догреве воздуха горения, что приводит к чрезмерному образованию термического  $NO_x$ . Возможность уменьшения температуры факела и, тем самым, уменьшения выделения оксидов азота, дает инертизация факела: процесс основывается на принципе смешивания больших количеств печных газов с воздухом для сгорания перед реакцией с топливом. Захват инертных печных газов (выполняющих функцию химического и термического балласта) происходит за счет большого движущего импульса струй воздуха, вдуваемого в камеру сгорания.

Если при горении со стабильным пламенем подмешивать в воздух для горения отходящие газы, горение происходит стабильно лишь до определенной степени. Как только эти границы пересекаются, пламя становится нестабильным, обрывается и, в конце концов, гаснет. При высоких температурах это может привести к воспламенению в пространстве печи и ведет к неполному сгоранию, поэтому состояния нестабильного горения в любом случае необходимо избегать. Тем не менее, при дальнейшем увеличении скорости рециркуляции отходящих газов, при определенных условиях опять можно до стигнуть стабильной реакции. При этом газообразное топливо

невидимо и бесшумно полностью реагирует, и поэтому этот способ горения называется «беспламенное окисление» или коротко «FLOX®» (FLammelose OXidation).

Благодаря специальной конструкции сопел горелок FLOX происходит управляемое и полностью беспламенное сгорание без пульсаций и видимого факела, а также без характерного шума, издаваемого факелом.

Благодаря интенсивной циркуляции продуктов сгорания технология беспламенного сжигания позволяет значительно снизить выбросы NOx (<200 мг/Нм<sup>3</sup> при содержании кислорода 3%).

Конструкции горелочных устройств:

- *Горелка со внешним догревом воздуха.* Для достижения необходимого предварительного смешивания используется венцеобразное расположение воздушных сопел. С высокой скоростью поступающие турбулентные свободные струи засасывают отходящие газы из пространства горения, перед тем как произойдет реакция между газообразным топливом и кислородом. Таким образом самая высокая достигаемая локальная температура в реакционной зоне при 5-ти разовом предварительно смешивании и температуре в печи 1000° всего лишь 1400° даже тогда, когда воздух для горения догревается до температуры в пространстве горения.

- *Рекуперативная горелка.* Для прямого и непрямого (косвенного) нагрева промышленных печей часто используются рекуперативные горелки, в основном при применении природного и сжиженного газов. Поскольку горелка и теплообменник являются одним целым, то потери в трубопроводах, которые присутствуют при применении центрального рекуператора, являются в этом случае ничтожными.. Принцип беспламенного окисления FLOX применим для рекуперативных горелок. На рисунке показана FLOX - рекуперативная горелка, а также возможную возможность установки при прямом нагреве печи или же при непрямом нагреве металлическими излучающими радиантными трубами. Рекуперативная горелка, между тем, может быть оптимизирована таким образом, что могут быть достигнуты практически нулевые выбросы.

- *Регенерационная горелка.* Существенное увеличение связанной с объёмом поверхности теплопередачи возможно в регенерационных горелках. В конструкции регенерационной горелки предусмотрены переключающие клапаны на холодной стороне горелки. Таким образом достигается высокий теплотехнический КПД даже при высоких температурах процессов в печи. Показанная на рисунке конструкция горелки позволяет в полной мере использовать принцип беспламенного окисления. Регенерационные патроны расположены короннообразно вокруг центральной трубки подачи газа и пропускаю через себя попеременно то воздух для горения (в печь) то отходящие газы (в общий коллектор).

Отличительные особенности и преимущества горелок с применением FLOX-технологии можно суммировать следующим образом:

- легко достигнуто повышение термической эффективности более чем на 30% относительно варианта без использования предварительного нагрева воздуха;
- значительно снижен уровень термического образования NOx, даже при очень высоком предварительном нагреве воздуха;
- весь температурный диапазон может быть охвачен одной горелкой (режим Пламя и режим FLOX);
- возможно свести к минимуму проблемы, порождаемые окислением, и контроль безопасности.